

Universidad Pablo de Olavide

PROGRAMA DE DOCTORADO  
CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

# TESIS DOCTORAL

**Factores antropométricos y de rendimiento físico  
determinantes de la velocidad y precisión de golpeo en  
jugadores de tenis menores de 20 años**

Autora: Irene González González  
Director: Juan José González Badillo

Noviembre de 2018





**Universidad Pablo de Olavide**

PROGRAMA DE DOCTORADO  
CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

## **TESIS DOCTORAL**

**Factores antropométricos y de rendimiento físico  
determinantes de la velocidad y precisión de golpeo en  
jugadores de tenis menores de 20 años**

**Autora:** Irene González González

**Director:** Juan José González Badillo

**Noviembre de 2018**



UNIVERSIDAD  
**PABLO<sup>D</sup>  
OLAVIDE**  
S E V I L L A

**Universidad Pablo de Olavide**

PROGRAMA DE DOCTORADO  
CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

## **TESIS DOCTORAL**

**Factores antropométricos y de rendimiento físico  
determinantes de la velocidad y precisión de golpeo en  
jugadores de tenis menores de 20 años**

Doctorando

Irene González González

Director

Juan José González Badillo

**Sevilla, Noviembre de 2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por su apoyo constante en todos los ámbitos de mi vida y mucho más.

A mi padre por todas sus enseñanzas, nociones, explicaciones y consejos que me han hecho amar y entender el deporte y, más importante aún, ser una persona íntegra y exigente conmigo. Gracias a él ha sido posible este trabajo que parecía inabordable.

A mi madre por darme el carácter, la voluntad y la disciplina para alcanzar mis propósitos. A mi hermano, por su permanente apoyo como hermano y como amigo.

A mi familia y a mis abuelos, que estarían orgullosos de este objetivo conseguido.

A todos mis compañeros y compañeras de la Federación Andaluza de Tenis que de una manera u otra me han ayudado en la realización de esta tesis. A mis jefes, Juan Arispón y Sebastián Tobaruela, por ofrecerme todas las facilidades en la recogida de datos y desarrollo de los entrenamientos. A los entrenadores, en especial a David Clavero y a Álvaro Rubio, por su predisposición para ayudarme en todo momento y sus palabras motivadoras como “a ver si la acabas ya”.

A los compañeros del Centro de Investigación en Rendimiento Físico y Deportivo (CIRFD), David Rodríguez, Ricardo Mora, Fernando Pareja y Juan Manuel Yáñez, por su desinteresada e inestimable ayuda en todas las fases de la tesis, aportándome su experiencia en la investigación en el deporte.

A todos los jugadores que participaron en este estudio y a sus entrenadores personales, porque me permitieron medirles en cada uno de los tests realizados.

A mi compañera y amiga Gema Torres, por sus enseñanzas, su fidelidad y su confianza depositadas en mí para la consecución de este proyecto.

A Mayka, por su comprensión, paciencia y estar ahí siempre que la necesito.

A todas mis amigas, las antiguas y las nuevas, por su apoyo moral, su cariño y su forma de ser que me hacen sentir la alegría de vivir.

A todos mis entrenadores, que me hicieron crecer y formarme como jugadora de tenis.

A mis amigos de la montaña, por revitalizarme cada día con nuevos y hermosos caminos.

A Cris, porque me ha seguido animando cada día y transmitiendo su pasión y desparpajo, y que, a buen seguro, estaría ahora aquí presente...nuestra amistad ha seguido su curso...



Y, finalmente, a todas las mujeres deportistas y tenistas, algunas en especial, reflejadas en este trabajo, que por sus metas alcanzadas y su forma de jugar han influido en mí y me hicieron soñar.

Y, ante todo, al tenis...

# ÍNDICE

Contenidos	página
<b>Resumen</b>	1
<b>Origen de la problemática objeto de estudio y justificación de la tesis</b>	5
<b>Bibliografía</b>	10
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	12
<b>Estado Actual del Conocimiento</b>	13
<b><i>Características técnicas y físicas del tenis</i></b>	13
<i>La cancha de juego</i>	15
<i>Las competiciones y la clasificación</i>	16
<i>Factores condicionales de la competición y demandas fisiológicas</i>	17
<i>Tipos de golpes y desplazamientos en el tenis</i>	21
<i>Conceptos biomecánicos aplicados a la técnica del tenis</i>	23
<i>Importancia de la velocidad de movimiento y de golpeo en el tenis</i>	34
<i>Evolución en el tiempo de la velocidad de la bola en el tenis</i>	36
<i>Evolución de la duración media de los puntos y la velocidad del juego</i>	37
<i>La velocidad del juego y la raqueta</i>	38
<i>Cambios en la velocidad de la bola como consecuencia de la fatiga</i>	39
<i>La velocidad del juego vista por los profesionales</i>	39
<b><i>Factores relacionados con el nivel deportivo o ranking</i></b>	41
<i>Relación de la velocidad de golpeo en el servicio con el nivel deportivo o ranking</i>	41
<i>Diferencias en la velocidad de los golpes de fondo en relación con el nivel deportivo</i>	43
<i>Importancia de la velocidad de la bola en el resto</i>	43
<i>Relación entre las variables antropométricas y el nivel deportivo o ranking</i>	44
<i>La precisión y el rendimiento en los golpes de tenis</i>	46
<b><i>Relación entre la capacidad de salto y de esprint con el nivel deportivo o ranking</i></b>	48
<b><i>La fuerza en el tenis</i></b>	50
<i>Tiempo disponible para aplicar fuerza en los golpes y velocidad del juego</i>	50
<i>La fuerza en el rendimiento en el tenis</i>	50
<i>Papel de la fuerza en la capacidad de desplazamiento en tenis</i>	54
<i>El efecto del entrenamiento de la fuerza en el tenis</i>	56
<b>Bibliografía</b>	59

<b>2 ESTUDIO 1</b>	69
<b>Problema</b>	69
<b>Objetivos</b>	70
<b>Hipótesis</b>	71
<i>Hipótesis 1.1</i>	71
<i>Hipótesis 1.2</i>	71
<i>Hipótesis 1.3</i>	71
<i>Hipótesis 1.4</i>	72
<b>Metodología</b>	73
<i>Tipo de investigación</i>	73
<i>Diseño del estudio</i>	73
<i>Sujetos</i>	74
<i>Variables objeto de estudio</i>	75
<i>Control de variables extrañas</i>	75
<i>Evaluaciones: medidas antropométricas y tests específicos</i>	76
<i>Medidas antropométricas</i>	76
<i>Tests de velocidad de golpes</i>	77
<i>Precisión de los golpes</i>	78
<i>Variabilidad de la velocidad</i>	78
<i>Instrumental de Evaluación</i>	79
<i>Análisis estadístico</i>	79
<b>Resultados</b>	81
<i>Características de los sujetos</i>	81
<i>Fiabilidad de la velocidad de la bola en los distintos golpes</i>	81
<i>Velocidad media de la bola y precisión en el golpeo según el nivel deportivo</i>	82
<i>Correlaciones entre la velocidad media de golpeo y diferentes variables antropométricas y el ND, y correlación entre las mismas variables al aplicar la correlación parcial controlando el resto de las variables en los tres golpes: saque, derecha y revés</i>	85
<i>Varianza explicada de la velocidad de los tres golpes a través del análisis lineal de regresión múltiple</i>	86
<i>Variabilidad en la velocidad de golpeo</i>	89
<b>Discusión</b>	90
<b>Conclusiones</b>	96
<b>Aplicaciones prácticas</b>	97
<b>Limitaciones</b>	98
<b>Bibliografía</b>	100
 <b>3 ESTUDIO 2</b>	 102
<b>Problema</b>	102
<b>Objetivos</b>	104
<b>Hipótesis</b>	105
<i>Hipótesis 2.1</i>	105
<i>Hipótesis 2.2</i>	106
<b>Metodología</b>	107
<i>Tipo de investigación</i>	107
<i>Diseño del estudio</i>	107

<b>Sujetos</b>	108
<b>Variables objeto de estudio</b>	108
<b>Control de variables extrañas</b>	109
<b>Evaluaciones: medidas antropométricas y tests específicos</b>	109
<i>Medidas antropométricas</i>	109
<i>Tests de velocidad en 10 y 20 m</i>	109
<i>Test de salto con contramovimiento (CMJ)</i>	110
<i>Test isoinercial de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa</i>	111
<i>Test isoinercial de cargas progresivas en el ejercicio de press de banca</i>	111
<i>Tests de velocidad de golpes y precisión</i>	112
<b>Instrumental de Evaluación</b>	113
<b>Análisis estadístico</b>	115
<b>Resultados</b>	116
<i>Fiabilidad del salto con contramovimiento (CMJ) y de la carrera de 20 m</i>	116
<i>Diferencias en el rendimiento físico según niveles deportivos</i>	116
<i>Correlación entre variables físicas de interés: CMJ, carga de 1 m·s<sup>-1</sup> en sentadilla (C<sub>1_sent.</sub>) y carreras, y la correlación entre estas variables al aplicar la correlación parcial controlando el nivel deportivo (ND) por una parte y la edad y las variables antropométricas conjuntamente, por otra</i>	117
<i>Correlaciones bivariadas de Pearson de orden cero y correlaciones parciales entre variables de rendimiento físico, antropométricas, ND y golpes</i>	119
<i>Relación entre las variables de rendimiento físico y la precisión en los golpes</i>	120
<i>Varianza explicada de la velocidad de los tres golpes a través del análisis lineal de regresión múltiple</i>	120
<b>Discusión</b>	122
<b>Conclusiones</b>	134
<b>Aplicaciones prácticas</b>	135
<b>Limitaciones</b>	136
<b>Bibliografía</b>	137
 <b>4 ESTUDIO 3</b>	 141
<b>Problema</b>	141
<b>Objetivos</b>	143
<b>Hipótesis</b>	144
<i>Hipótesis 3.1</i>	144
<i>Hipótesis 3.2</i>	145
<b>Metodología</b>	146
<i>Tipo de investigación</i>	146
<i>Diseño del estudio</i>	146
<i>Sujetos</i>	147
<i>Variables objeto de estudio</i>	147
<i>Control de variables extrañas</i>	147
<i>Evaluaciones: medidas antropométricas y tests específicos</i>	148

<i>Instrumental de Evaluación</i>	148
<i>Entrenamientos</i>	148
<i>Análisis estadístico</i>	150
<b>Resultados</b>	152
<i>Características de los sujetos</i>	152
<i>Efecto del entrenamiento sobre las variables de condición física a través de los cinco tests</i>	152
<i>Efecto del entrenamiento sobre las variables de rendimiento específico a través de los cinco tests</i>	154
<b>Discusión</b>	157
<b>Conclusiones</b>	165
<b>Aplicaciones prácticas</b>	166
<b>Limitaciones</b>	167
<b>Bibliografía</b>	168
 <b>Síntesis de Conclusiones y Aplicaciones Prácticas</b>	 171
 <b>Relación de abreviaturas</b>	 173
<b>Relación de tablas y figuras</b>	176
<b>Anexo 1: Consentimiento informado</b>	180
<b>Anexo 2: Hoja de registro de datos de tests específicos</b>	181
<b>Publicación</b>	

---

# RESUMEN





## Resumen

Uno de los objetivos fundamentales de cualquier investigación relacionada con el deporte de competición es comprobar cuáles son los factores que explican el rendimiento deportivo, ya que estos factores son los que justifican el tipo de entrenamiento que se ha de llevar a cabo. El objetivo general de esta tesis fue comprobar qué variables antropométricas, físicas y de nivel deportivo podían explicar en mayor medida la velocidad de la bola y la precisión en los golpes de saque, derecha y revés como indicadores del rendimiento deportivo en tenis, así como comprobar el efecto de distintas cargas de entrenamiento sobre el rendimiento físico y la velocidad de la bola en los golpes de saque y de fondo. Para tratar de dar respuesta a la problemática planteada se llevaron a cabo tres estudios.

El primer estudio tuvo como objetivo comprobar qué variables antropométricas y de nivel deportivo tenían mayor poder explicativo del rendimiento específico en los golpes de saque, derecha y revés. En el estudio participaron 85 jugadores de tenis, de edades comprendidas entre 13 y 18 años, que formaban parte de los programas de entrenamiento y desarrollo de talentos deportivos de la Federación Andaluza de Tenis, y fueron divididos en cinco grupos según su nivel deportivo (ND). En sucesivas sesiones se midieron el peso corporal (PC), la talla, la envergadura (EVG) y la velocidad de golpeo en los golpes de saque, derecha y revés. El análisis de los datos se llevó a cabo a través de un ANOVA de un factor, con análisis post hoc, un ANCOVA con la madurez como covariable, de correlaciones de orden cero y de correlaciones parciales, así como de un análisis lineal de regresión múltiple y de fiabilidad de la velocidad de los golpes. Los resultados mostraron una alta fiabilidad de la velocidad de golpeo para los tres tipos de golpes y similar para cada uno de los ND; la velocidad de la bola aumentó progresivamente desde el ND\_1 al ND\_5 en todos los golpes, y no se modificó al controlar los resultados a través de la utilización de la madurez biológica como covariable, pero no se observó la misma tendencia en la precisión; las variables edad, ND, PC, talla y EVG mostraron correlación significativa de orden cero con la velocidad de la bola en todos los golpes, pero al aplicar la correlación parcial con el control del resto de variables, los valores de estas correlaciones decrecieron sustancialmente; algunas de las anteriores variables explicaron desde el 57,7 al 81,4% de la velocidad media y máxima de los tres golpes cuando se aplicó la regresión lineal múltiple; cuanto mayor fue la velocidad del golpeo de cada sujeto,

menor tendió a ser su propia variabilidad. Según los resultados del estudio, se puede concluir que la vía hacia la excelencia en el rendimiento en tenis es en gran medida dependiente del aumento de la velocidad de la bola, mientras se mantiene relativamente estable la precisión en el golpeo. Podríamos decir que el nivel deportivo aumenta si aumenta la velocidad de golpeo de la bola, y que el ND es la variable con una mayor relación propia –independiente del resto de variables– con la velocidad de la bola en los tres golpes.

Los objetivos del segundo estudio fueron comprobar el grado de explicación que pueden aportar algunas variables de rendimiento físico al rendimiento específico de golpeo, comprobar la relación entre distintas variables de rendimiento físico entre sí en un grupo de tenistas y analizar las posibles diferencias en el rendimiento físico en función del nivel deportivo (ND). Participaron los mismos sujetos que en el primer estudio. Se utilizaron las mismas variables evaluadas en dicho estudio más las medidas de salto (salto con contramovimiento: CMJ) y la velocidad de desplazamiento (carrera de 20 m). Adicionalmente, 14 de los sujetos participantes se evaluaron con tests de fuerza a través de los ejercicios de sentadilla (carga que se podía desplazar a  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ :  $C_{1\_sent}$ ) y press de banca ( $C_{1\_PB}$ ). El análisis de los datos se llevó a cabo a través de correlaciones de orden cero y de correlaciones parciales, así como de un análisis lineal de regresión múltiple y un ANOVA de un factor con análisis post hoc para estudiar las posibles diferencias entre grupos en las variables físicas de rendimiento. Adicionalmente, se consideró pertinente conocer el grado de estabilidad (fiabilidad) en los tests de salto vertical y de la carrera de 20 m. Los resultados indicaron una fiabilidad muy elevada del CMJ y las carreras de 0-10 y 0-20 m (0,97 a 0,99 de coeficiente de correlación intraclass y de 1,36 a 2,6 de coeficiente de variación); el rendimiento físico en CMJ y en carrera aumentó de manera continua con el aumento del nivel deportivo, aunque las diferencias solo fueron significativas estadísticamente entre el ND\_5 y los ND 1 y 2; el CMJ y la  $C_{1\_sent}$  mantuvieron correlaciones significativas entre sí y con los tiempos en carrera incluso cuando se controlaba el ND y la edad junto con las variables antropométricas; el rendimiento en todas las variables físicas presentó correlaciones significativas con las velocidades medias y máximas de todos los golpes, se mantuvieron significativas al controlar el ND y tendieron a reducirse con el control de la edad y las variables antropométricas conjuntamente, pero ninguna de estas variables presentó relación significativa con la precisión de los golpes; al incluir las variables de rendimiento físico

como posibles variables predictoras de la velocidad de los golpes al aplicar la regresión lineal múltiple, se mantuvo una varianza explicada semejante a la del Estudio 1, pero con la inclusión del tiempo en 0-10 m en la ecuación de regresión en tres de las seis ecuaciones. Los resultados permiten concluir que el rendimiento físico aumenta de manera continua con el ND a pesar de que entre los ND 1 y 4 los valores de la edad y las variables antropométricas fueron muy semejantes. El CMJ y  $C_{1\_sent}$  presentan correlaciones significativas entre sí y con los tiempos en carreras de 20 m cualesquiera que sean los valores de las variables edad, ND y antropométricas. Todas las variables físicas presentan correlaciones de orden cero significativas con las velocidades medias y máximas de todos los golpes, y se mantienen significativas al controlar el ND. La  $C_{1\_sent}$  y el tiempo en 0-10 m son las variables que explican individualmente mayor varianza de la velocidad de los tres golpes cuando se controla la edad y las variables antropométricas conjuntamente. La variable tiempo en 0-10 m se incorpora a la ecuación de regresión múltiple en tres de las seis ecuaciones analizadas.

El objetivo del tercer estudio fue comprobar el efecto de un periodo de entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico y específico (velocidad de golpeo). Participaron los 14 sujetos que ya fueron evaluados en los ejercicios de fuerza en el Estudio 2. Estos sujetos realizaron un entrenamiento de fuerza paralelamente a su entrenamiento específico de tenis durante tres ciclos de entrenamiento de ocho semanas, con dos sesiones de entrenamiento por semana, con una intensidad relativa máxima igual o inferior al 60-70% de la RM, con muy baja fatiga (haciendo menos de la mitad de las repeticiones posibles en la serie), ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible y realizando ejercicios considerados como “no específicos” (sentadillas y press de banca). Fueron evaluados en cinco ocasiones en las mismas variables antropométricas y de rendimiento físico y específico que en el Estudio 2. Los efectos del entrenamiento se analizaron a través de un ANOVA de medidas repetidas y a través del tamaño del efecto. Además, se analizaron las correlaciones entre los cambios de rendimiento en todas las variables físicas y antropométricas y los cambios en la velocidad de la bola. El rendimiento en las variables físicas a través de los cinco tests aumentó en términos absolutos de manera continua en todos los casos, aunque no siempre de manera significativa estadísticamente. El CMJ mejoró en el 5º test con respecto a los tests 1 y 2, el test de 0-20 m mejoró de manera significativa en el 5º test con respecto al test 3, la sentadilla mejoró en todos los tests con respecto al test 1, en los tests 3 y 4 con respecto al test 2 y en el test 5 con

respecto a los tests 2 y 3. En el press de banca se produjeron cambios significativos en el test 5 con respecto a los tests 1 y 2 y en el test 4 con respecto al test 1. Además de las diferencias significativas indicadas previamente, encontramos 11 tamaños del efecto (TE) sin ceros en el intervalo de confianza del 95% repartidos de la siguiente forma: 3 en CMJ, 3 en 0-10 m y 5 en 0-20 m. No se observaron modificaciones significativas en la velocidad de la bola. Nuestros resultados sugieren que un entrenamiento de las características indicadas es positivo para la mejora de la fuerza y el rendimiento en velocidad de desplazamiento y salto en jugadores de tenis de las características de los participantes en nuestro estudio. El entrenamiento de fuerza aplicado en nuestro estudio no produjo cambios estadísticamente significativos en la velocidad de golpeo, pero los cambios en la fuerza de los miembros superiores e inferiores, en el CMJ y en el tiempo en 0-20 m presentaron en varios tests una tendencia a cambiar de manera concomitante con los cambios en la velocidad de la bola en el saque, la derecha y el revés.



ORIGEN DE LA PROBLEMÁTICA  
OBJETO DE ESTUDIO Y  
JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS

## **Origen de la problemática objeto de estudio y justificación de la tesis**

Este estudio se ha realizado exclusivamente con practicantes del tenis del género masculino, por lo que a lo largo del texto siempre se utilizará el término “jugador”.

Uno de los objetivos fundamentales de las investigaciones relacionadas con el deporte de competición es comprobar cuáles son los factores que explican el rendimiento deportivo. Esto es así porque el conocimiento de estos factores es lo que justifica el tipo de entrenamiento que se ha de llevar a cabo. El deporte del tenis consiste en golpear una bola con una raqueta y hacer que la bola bote dentro de los límites del campo contrario a la mayor velocidad posible y, generalmente, en el lugar más alejado de donde se encuentre el oponente. Esto significa que el resultado va a depender de dos factores, la velocidad a la que se desplaza la bola y la precisión de su trayectoria. A su vez, la velocidad de la bola depende de manera directa de la fuerza que se le aplica en el momento del impacto con la raqueta. Además, el jugador necesita frecuentes y rápidos desplazamientos y cambios de dirección, los cuales dependen, igualmente, de la capacidad de aplicar fuerza —contra el suelo— en la unidad de tiempo. Por tanto, velocidad, precisión y fuerza aplicada parecen factores determinantes y, por ello, explicativos, del rendimiento en el tenis, y constituyen un campo relevante de la problemática propia del entrenamiento de este deporte. El diseño y el desarrollo de esta tesis gira en torno al estudio, en parte, de estos factores.

La velocidad de la bola en los golpes de tenis debe ser considerada como un importante criterio de referencia para valorar el rendimiento del tenista, ya que un aumento de la velocidad de la bola reduce el tiempo disponible para que el oponente la devuelva, lo que aumenta el riesgo de que la devolución de esta sea fallida o que se haga con escasa velocidad y precisión. Algunos estudios confirman con datos esta propuesta, ya que se ha considerado que el tenis se caracteriza por la velocidad y la precisión del golpeo de la bola (Landlinger et al. 2012; Vergauwen et al. 2004), habiéndose encontrado valores de velocidad de la bola mayores en jugadores de nivel internacional que en los de nivel nacional (Landlinger et al. 2012), y una relación significativa entre la precisión de los golpes y la posición en el ranking (Kolman et al., 2017). Sin embargo, no hemos encontrado estudios que analicen la evolución de la velocidad y la precisión a lo largo de la vida deportiva de los tenistas. Por tanto, solo esta relación obvia entre la velocidad y la precisión con el rendimiento deportivo sería suficiente para justificar que es importante



cuantificar la relación entre la velocidad de la bola, la precisión y el rendimiento, aspectos que entendemos que no están suficientemente estudiados.

Si admitimos que es importante aumentar la velocidad de la bola para mejorar el rendimiento, es razonable proponerse encontrar cuáles son los principales factores de los que depende la velocidad de ejecución. Entre estos factores podría estar la talla del jugador, que teóricamente sería favorable para aumentar la velocidad y la precisión, ya que una mayor talla permite mayor velocidad periférica de la raqueta y por ello una mayor velocidad de esta al golpear la bola para una misma velocidad angular. Este razonamiento ha sido ratificado en la práctica, ya que se han encontrado relaciones positivas significativas entre la talla y la velocidad de la bola en el servicio (Cross and Pollard, 2009; Vaverka and Cernosek, 2013; Bonato et al., 2015). Una mayor talla también ofrecería una “ventana” (mayor ángulo) más amplia para poder colocar la bola en el cuadro de saque (Brody, 2006; Reid et al., 2012), es decir, facilitaría la precisión, ya que se golpea desde mayor altura. Parece, por tanto, que una mayor talla ofrecería más posibilidades de éxito. Por el contrario, no se encontraron relaciones significativas entre la velocidad en el servicio y el peso corporal (Bonato et al., 2015), a pesar de que, como es conocido, existe una relación positiva entre la talla y el peso corporal.

Aunque algunos estudios se han orientado al análisis de la evolución de determinadas características antropométricas y físicas en deportistas jóvenes (Kramer et al., 2016; Kramer et al 2017; Myburgh et al., 2016; Ulbricht et al., 2016), son muy escasos los trabajos que analizan de manera conjunta la relación de la velocidad y precisión de la bola con variables antropométricas en distintos niveles deportivos (Ulbricht et al., 2016; Kolman et al., 2017). Pero, especialmente, no hemos encontrado ningún estudio que contemple la posibilidad de que algunos de los valores de las correlaciones encontradas entre las distintas variables estén en parte determinados por otras variables, es decir, que se trate de relaciones espúrias, lo que podría modificar –generalmente reducir– en tal medida el valor de la correlación aparente encontrada, que pondría en grave riesgo la validez de los estudios. Por tanto, aquí encontramos otra vía de análisis de los datos que no ha sido prácticamente estudiada hasta ahora, y que será abordada en el desarrollo de esta tesis.

En un gran número de estudios se ha examinado la relación entre la velocidad de la pelota del saque de tenis y la fuerza de los miembros superiores. Se ha propuesto que la articulación primaria y el patrón de movimiento más relevante en el jugador de tenis en

la realización del saque es la rotación del hombro (Cohen et al., 1994). Pero la fuerza generada por los miembros superiores al golpear la bola no es independiente de la fuerza del resto del cuerpo, sino que el desarrollo del momento lineal y angular comienza con las fuerzas de reacción del suelo generadas por los jugadores a través de su acción de piernas (Bahamonde, 1997), y continúa con la transmisión de la fuerza desde las piernas a través del tronco. En este sentido, se ha propuesto que para aumentar el rendimiento en el saque, cuantificado por el aumento de la velocidad sin afectar a la precisión, se debe aumentar la fuerza muscular de toda la cadena cinética (Roetert et al., 2009), de la cual es un eslabón importante la participación del tronco (Roetert et al., 1996; Ellenbecker & Roetert, 2000). No obstante, la relación entre los valores de fuerza y la velocidad de la bola parece depender en parte del tipo de medición con el que se valora la fuerza. Signorile et al. (2005) encontraron correlaciones significativas solamente entre la velocidad de la bola en el saque, la derecha y el revés y el momento de fuerza pico cuando se midió la fuerza isocinéticamente. Por el contrario, en otros estudios no se encontraron relaciones entre diferentes valores de fuerza de las piernas, del hombro y del agarre medidos con acciones isocinéticas y la velocidad de la bola (Pugh et al., 2003), ni tampoco con las medidas de fuerza de rotación interna y externa del hombro, flexión-extensión de la muñeca y la pronación del antebrazo (Ellenbecker, 1991). Estos resultados, en algunos casos contradictorios, sugieren que los estudios deberían enfocarse en factores tales como los diferentes modos y velocidades de ejecución de las pruebas de fuerza, ejercicios de habilidad y tener en cuenta la influencia del entrenamiento (Pugh et al., 2003). Por tanto, nos encontramos con otra vía explicativa del rendimiento que aún presenta muchas incógnitas, y que, por ello puede ser objeto de estudio, como lo es en esta tesis.

Para producir un desplazamiento de cualquier cuerpo es necesario aplicarle una fuerza, y para ello es necesario que la fuerza se aplique en un punto determinado. En nuestro caso, es precisamente la fuerza que aplica el tenista contra el suelo y su relación con el tiempo, es decir, la producción de fuerza en la unidad de tiempo (RFD), la que va a determinar su capacidad de desplazarse para realizar un golpeo eficaz. De ahí que se haya propuesto que el tenis de elite requiere que los jugadores generen repetidamente altos valores de RFD para la realización de golpes explosivos y movimientos rápidos sobre la pista durante los partidos de larga duración (Lees, 2003). Estas características de los desplazamientos podrían explicar por qué en algunos estudios se ha observado relación entre el rendimiento del tenis y las pruebas físicas de 5, 10 y 20 m y el salto (Girard &

Millet, 2009). Pero las relaciones entre estas pruebas y el rendimiento no se han encontrado en todas las edades, niveles y tipos de rendimientos físicos. En un numeroso grupo de jugadores, que se dividieron en grupos de edad media de 12, 14 y 16 años, se observó una correlación positiva significativa entre el ranking y los tiempos en 10 m en la edad de 14 años y en 20 m en los grupos de edad de 14 y 16 años, y solamente se observaron diferencias significativas entre los sujetos de nivel nacional y regional en 10 y 20 m en el grupo de 12 años y en CMJ en el grupo de 14 años (Ulbrich et al., 2016). Por tanto, parece que es necesario seguir estudiando en qué medida estas pruebas físicas explican el rendimiento, sobre todo tratando de eliminar la influencia de terceras variables que podrían influir en los valores de las correlaciones habituales de orden cero.

En los últimos años el entrenamiento de fuerza se ha considerado como una importante herramienta para la mejora del rendimiento en el tenis. Se ha observado que el entrenamiento de fuerza aumenta las ganancias funcionales y el rendimiento atlético del tenista, además de un aumento significativo en la velocidad de la pelota (Pugh et al., 2003). Un entrenamiento isocinético ofreció efectos positivos, pero no el de tipo excéntrico (Ellenbenker et al. 1988). Un entrenamiento de fuerza con una carga estable del 60% de la RM durante seis semanas con los ejercicios de press de banca en peso libre y media sentadilla mejoró de manera significativa la fuerza máxima en press de banca y la potencia media en la fase propulsiva y velocidad máxima en media sentadilla, mientras que el salto solo mejoró en el test de saltos repetidos de 15 segundos y no hubo mejoras en el desplazamiento de 5 a 20 metros (Sarabia et al., 2010). Entrenamientos de fuerza “periodizados” produjeron efectos positivos sobre la fuerza, el salto vertical y la velocidad de la bola, pero no el “no periodizado” (Kraemer et al. (2003). Un entrenamiento de fuerza basado en golpear con raquetas más pesadas de las usuales no parece proporcionar una mayor velocidad en el golpeo (Whiteside et al., 2014). Parece que un método eficiente para mejorar el rendimiento es agregar ejercicios pliométricos, de velocidad y / o intermitentes a los programas tradicionales de entrenamiento de tenis (Lees 2003; König et al 2001; Kramer et al., 2003) o utilizarlos de manera exclusiva (Fernández et al., 2016). Como se puede observar, son muy diversos los procedimientos llevados a cabo para intentar mejorar la fuerza, y los resultados no siempre son positivos. Esto significa que existe la necesidad de seguir estudiando qué tipo de entrenamiento es el que puede ser el más beneficioso para la mejora del rendimiento físico y específico del tenista.

Por tanto, dada esta situación, se nos crea la necesidad de aproximarnos a una solución de esta problemática general, aunque sea de manera parcial. La insuficiencia de datos objetivos basados en estudios descriptivos rigurosos sobre la relación entre variables relacionadas con la velocidad de la bola y el nivel deportivo, así como la necesidad de hallar experimentalmente la relación entre distintos tipos de entrenamiento y el desarrollo de la fuerza y la velocidad de la bola han despertado nuestra inquietud por buscar una respuesta a esta situación problemática, lo que nos proponemos realizar a través de estudios descriptivos para profundizar en el conocimiento de las variables dinámicas y cinemáticas que se relacionan con la velocidad de la bola y el rendimiento deportivo, y con estudios experimentales para comprobar el efecto de determinadas cargas sobre estas mismas variables.

Consideramos que la problemática descrita se encuentra dentro del campo del entrenamiento de las cualidades físicas básicas y del rendimiento deportivo, y que podría aportar información relevante sobre los factores explicativos del rendimiento en el deporte del tenis.

Por otra parte, podemos admitir que el análisis de los factores explicativos del rendimiento deportivo en tenis puede ser objeto de estudio descriptivo y experimental, pues las variables que pueden explicar esta relación son susceptibles de *medición y cuantificación*.

Por tanto, la *problemática* objeto de estudio gira en torno a los siguientes objetivos generales:

- Precisar las variables antropométricas, físicas y de nivel deportivo que explican en mayor medida la velocidad de la bola y la precisión en los golpes de saque, derecha y revés como indicadores del rendimiento deportivo en tenis.
- Comprobar el efecto de distintas cargas de entrenamiento sobre el rendimiento físico y la velocidad de la bola en los golpes de saque, derecha y revés.

## Bibliografía

- Bahamonde, R. E. (1997). Joint power production during flat and slice tennis serves. In: 15th International Symposium on Biomechanics in Sports. Denton, tx., pp. 489–494.
- Bonato, M., Maggioni, M. A., Rossi, C., Rampichini, S., La Torre, A., & Merati, G. (2015). Relationship between anthropometric or functional characteristics and maximal serve velocity in professional tennis players. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(10), 1157–1165
- Brody, H. (2006). Cross-Court versus down-the-line. *Journal of Medicine and Science in Tennis*, 11, 26
- Cohen, D. B., Mont, M. A., Campbell, K. R., Vogelstein, B. N., & Loewy, J. W. (1994) Upper extremity physical factors affecting tennis serve velocity. *Am. J. Sportsmed*, 22, 746–750.
- Cross, R., & Pollard, G. (2009). Grand Slam men's singles tennis 1991-2009. Serve speeds and other related data. *ITF Coaching and Sport Science Review*, 16(49), 8-10
- Ellenbecker, T. S., & Roetert, E. P. (2000). Isokinetic testing and training in tennis. In L. Brown (Ed.), *Isokinetic in human performance*. Champaign, IL: Human Kinetics (pp. 358-377).
- Ellenbecker, T. S. (1991). A total arm strength isokinetic profile of highly skilled tennis players. *Isokinetic and Exercise Science*, 1, 9-21.
- Ellenbecker, T. S., Davies, J., & Rowinski, J. (1988). Concentric versus eccentric isokinetic strengthening of the rotator cuff: objective data versus functional test. *American Journal of Sports Medicine*, 16, 64-68.
- Fernández-Fernández, J., Sáez de Villareal, E., Sanz-Rivas, D., & Moya, M. (2016). The effects of 8-week plyometric training on physical performance in young tennis players. *Pediatric Exercise Science*, 28, 77 -86.
- Girard, O., & Millet, G. P. (2009). Physical determinants of tennis performance in competitive teenager players. *Journal of strength and conditioning research*, 23(6), 1867–1872.
- Kolman, N., Huijgen, B., Kramer, T., Elferink-Gemser, M., & Visscher, C. (2017). The dutch technical-tactical tennis test (d4t) for talent identification and development: Psychometric characteristics. *Journal of Human Kinetics*, 55, 127-138
- König, D., Huonker, M., Schmid, A., Halle, M., Berg, A., & Keul, J. (2001). Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. *Med Sci Sports Exerc*, 33, 654–8.
- Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Triplett-Mcbride, N. T., Fry, A. C., Koziris, L. P., Ratamess, N. A., Bauer, J. E., Volek, J. S., McConnell, T., Newton, R. U., Gordon, S. E., Cummings, D., Hauth, J., Pullo, F., Lynch, J. M., Fleck, S. J., Mazzetti, S.A., & Knuttgen, H. G. (2003). Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players. *Med. Sci. Sports Exerc*, 35, 157–168.

Kramer, T., Huijgen, B. C. H., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2017). Prediction of Tennis Performance in Junior Elite Tennis Players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 16, 14-21

Kramer, T., Valente-Dos-Santos, J., Malina, R. M., Huijgen, B.C.H., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2016). Modeling Longitudinal Changes in 5m Sprinting Performance Among Young Male Tennis Players. *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 2, 122(1), 299–318.

Landlinger, J., Stöggl, T., Lindinger, S., Wagner, H., & Müller, E. (2012). Differences in ball speed and accuracy of tennis groundstrokes between elite and high-performance players. *European Journal of Sport Science*, 12(4), 301-308

Lees, A. (2003). Science and the major racket sports: A review. *J Sports Sci*, 21, 707-32.

Myburgh, G. K., Cumming, S. P., Silva, M. C., Cooke, K., & Malina, R. M. (2016). Maturity-Associated Variation in Functional Characteristics Of Elite Youth Tennis Players. *Pediatr Exerc Sci*, 28(4), 542-552.

Pugh, S.F., Kovalski, J. E., Heitman, R. J., & Gilley, W. F. (2003). Upper and lower body strength in relation to ball speed during a serve by male collegiate tennis players. *Percept. Mot. Skills*, 3:867–872.

Reid MM, Campbell AC, Elliott BC. (2012) Comparison of endpoint data treatment methods for estimation of kinematics and kinetics near impact during the tennis serve. *J Appl Biomech*; 28: 93–98.

Roetert, E. P., Brown, S. W., Piorkowsk P. A., & Ronald B. W. (1996). Fitness comparisons among three different levels of elite tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(3), 139-143.

Roetert, E.P., Ellenbecker, T.S., & Reid, M. (2009). Biomechanics of the tennis serve: Implications for strength training. *Strength and Conditioning Journal*, 31, 35-40.

Sarabia, J. M., Juan, C., Hernández, H., Urbán, T., & Moya, M. (2010). El mantenimiento de la potencia mecánica en tenistas de categoría cadete. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 25, 51-74.

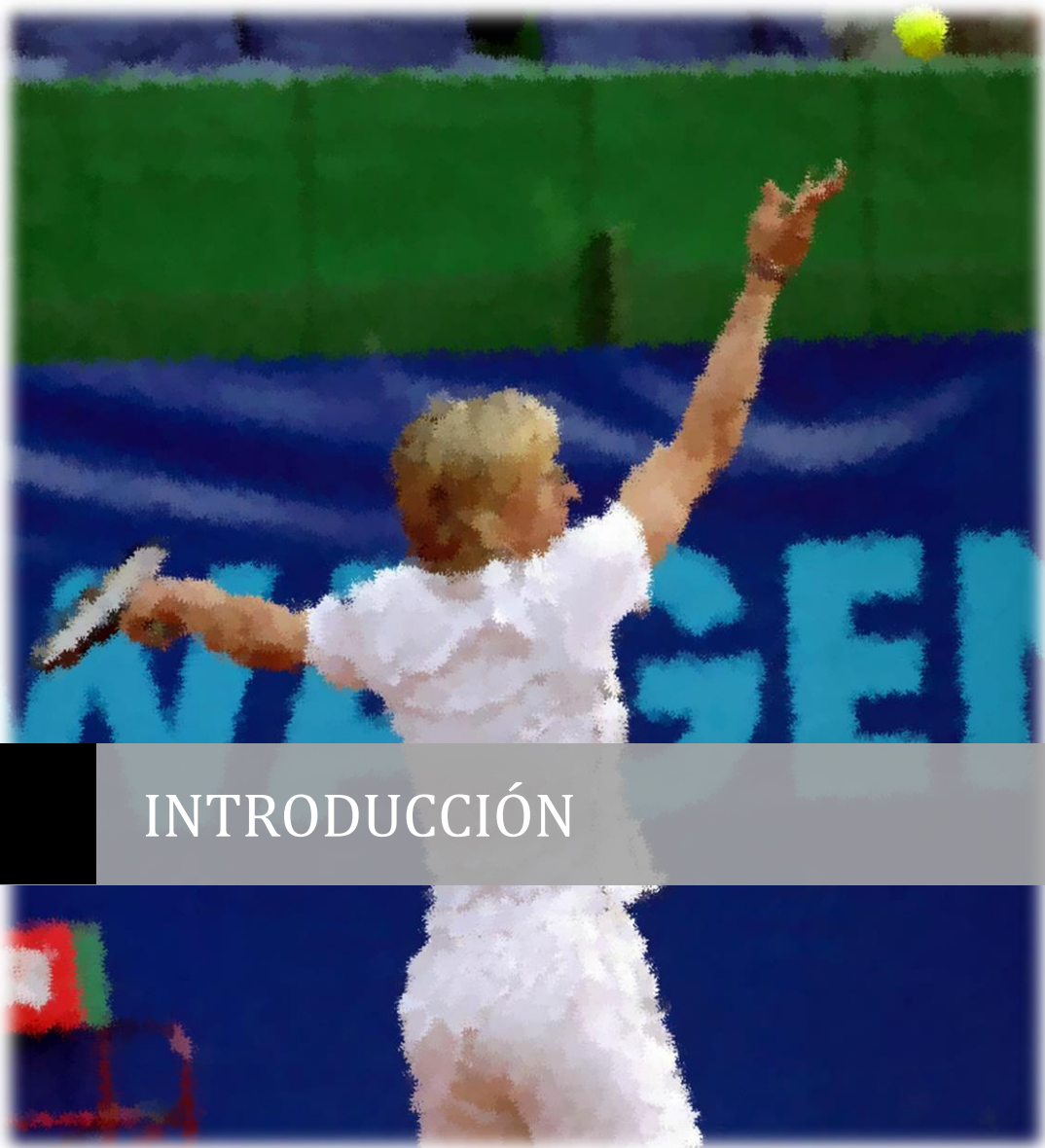
Signorile, J.F., Sandler, D. J., Smith, W. N., Stoutenberg, M., & Perry, A. C. (2005). Correlation analyses and regression modeling between isokinetic testing and on-court performance in competitive adolescent tennis players. *Journal of Science and Conditioning Research*, 19(3), 519-526.

Ulbricht, A., Fernández-Fernández, J., Méndez-Villanueva, A., & Ferrauti, A. (2016). Impact of fitness characteristics on tennis performance in elite junior tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 989-998.

Vaverka, F., & Cernosek, M. (2013). Association between body height and serve speed in elite tennis players. *Sports Biomechanics*. 12(1), 30-37

Vergauwen, L., Madou, B., & Behets, D. (2004). Groundstrokes in young low-to intermediate level tennis players. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36(12), 2099-2016.





1.

## INTRODUCCIÓN

# INTRODUCCIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN

### Estado Actual del Conocimiento

La valoración típica de la evolución de un jugador se hace a través de los cambios en su posición en el ranking. Sin embargo, lo relevante es conocer qué variables de tipo técnico, fisiológico o físico están relacionadas con los cambios en dicho ranking. Por ello, se ha propuesto la objetividad y confiabilidad de métodos estadísticos y tecnológicos de recogida de información para predecir el rendimiento competitivo de un jugador de tenis. (Panjan et al., 2010; Shang-Min et al., 2013).

Hasta hace relativamente poco tiempo, existía un desacuerdo general entre la comunidad científica con respecto a las características de rendimiento físico más importantes y las pruebas útiles para evaluar al jugador en este deporte, y generalmente no se incluía la evaluación de las habilidades técnicas, como por ejemplo la velocidad de ejecución. A este desacuerdo se une la falta de suficiente investigación respecto a la relación entre la velocidad de la pelota, la precisión y el tipo de golpes entre los diferentes niveles de juego (Genevois et al., 2015).

### *Características técnicas y físicas del tenis*

Dentro de la clasificación de los deportes, el tenis es un deporte de oposición, de adversario indirecto y con participación alternativa, ya que existe un obstáculo o red que separa a los jugadores, situándolos uno a cada lado de la red, desde donde deben golpear una vez cada uno. Además de la modalidad individual, también existe la de dobles, en la que se da una colaboración-oposición.

El objetivo primario del juego es desplazar una pelota, y tanto el ejecutante como la pelota están en movimiento en el inicio de la acción. Es un deporte que depende en gran medida del entorno y de sus variables cambiantes, con lo que su nivel de incertidumbre durante las situaciones del juego puede resultar elevado.

El tenis comenzó a practicarse tal y como se le conoce hoy en día a finales del siglo XIX, y es uno de los deportes actuales que goza de mayor popularidad en casi todos los países del mundo. Su imagen comercial y poder económico, con innumerables competiciones

importantes, atraen a una gran cantidad de público y practicantes. Esta implantación social y su alto nivel de profesionalización le confieren una elevada repercusión mediática, fundamentalmente cuando se trata de los Grand Slams, los Masters y la Copa Davis.

En sus orígenes fue un juego de pelota que, como muchos otros, se pierden en el tiempo. Su versión más primitiva se origina en la celebración religiosa de acción de gracias en la que, tras la batalla, los guerreros celebraban la victoria lanzándose el objeto más preciado de su enemigo, la cabeza. Un antepasado más moderno data del siglo XVI, cuando era practicado en Francia con el nombre de «*jeu de paume*» en el que golpeaban la pelota con la mano. Posteriormente, ya con la utilización de raquetas, prosiguió su práctica en Europa a finales del siglo XVIII y comenzó a expandirse primeramente por los países angloparlantes, y en años posteriores continuó su rápido progreso hasta bien entrado el siglo XX.

Pero no es hasta la denominada *Era Open*, en 1968, cuando el tenis empieza a adquirir gran importancia en la sociedad como deporte y espectáculo (Crespo et al., 1993). En esta etapa se establecen nuevas normativas, como, por ejemplo, que los jugadores profesionales ya podían participar en todo tipo de torneos, que, junto con la creación de la Asociación de Tenistas Profesionales (ATP) y la Asociación de Mujeres Tenistas (WTA), como organismos que liderarán la organización del tenis mundial en hombres y mujeres, respectivamente, serán hechos trascendentales para su evolución.

Desde la etapa moderna del tenis, años 70 en adelante, la evolución constante de este deporte, desde el punto de vista del rendimiento de los jugadores, viene marcada por el perfeccionamiento de la técnica y los cambios en las tácticas de juego, que en general se han visto fuertemente influidos por factores como los avances tecnológicos aplicados a la construcción de las raquetas, los cambios en las superficies de juego, el incremento constante de las exigencias físicas y competitivas, la mayor preparación de los técnicos y las aportaciones de las ciencias del deporte. Pero es en estos últimos 10 años cuando se observa con mayor claridad la tendencia hacia un juego más agresivo, potente y rápido, donde cada vez prima más la velocidad de la pelota para restar tiempo al oponente y hacerse con el punto con prontitud. Este hecho se ve reflejado en el aumento de la velocidad en los golpes de fondo y en el saque, alcanzando este último cifras de  $263 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  en 2012 en hombres y  $210 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  en 2014 en mujeres. Esta tendencia ha dado lugar a

que los jugadores de alto nivel, los técnicos y medios de comunicación aludan constantemente al “impresionante ritmo de juego de los mejores jugadores”.

Todo ello nos lleva a pensar que si los jugadores tienen una tendencia a aumentar la velocidad de golpeo a medida que ascienden de nivel y que, además, es lo que caracteriza el tenis actual, podemos trabajar con esta variable como referencia para controlar el entrenamiento y la evolución del rendimiento de los tenistas, así como estudiar su relación con el desarrollo físico.

### *La cancha de juego*

El reglamento determina las características de los deportes. En el caso del tenis las dimensiones de la pista y de la red, las limitaciones para ejecutar el saque, los tiempos de descanso y las características del implemento y el móvil son factores a tener en cuenta para estructurar el entrenamiento y evaluar el rendimiento de los jugadores.

La pista reglamentaria de tenis es un rectángulo de 23,77 m de largo por 8,23 m de ancho. Para el juego de dobles la longitud es igual pero la anchura es de un total de 10,97 m. Las líneas de fondo son las que determinan los extremos de la pista en longitud, y las líneas laterales de individual o dobles, son las que la delimitan en anchura. Por otro lado, existen las líneas de saque (línea de media pista) que se separan 6,40 metros a cada lado de la red. La línea de saque está dividida en dos mitades iguales por la línea central de saque, obteniendo los denominados cuadros de servicio. No pisar la línea de fondo antes de impactar la pelota en el saque es una de las normas básicas del juego que impide ejecutar este golpe dentro de la propia pista, es decir a 11,88 m de distancia de la red (figura 1.1). Además, para que una pista de tenis sea reglamentaria debe tener 3,66 m desde la línea lateral hasta los límites de la cancha, y 6,40 m en el fondo. Este margen de espacio determina la distancia máxima de desplazamiento del jugador, tanto en los laterales de la pista como en los del fondo. La red tiene una altura de 1,07 m en los extremos y de 0,914 m en el centro.

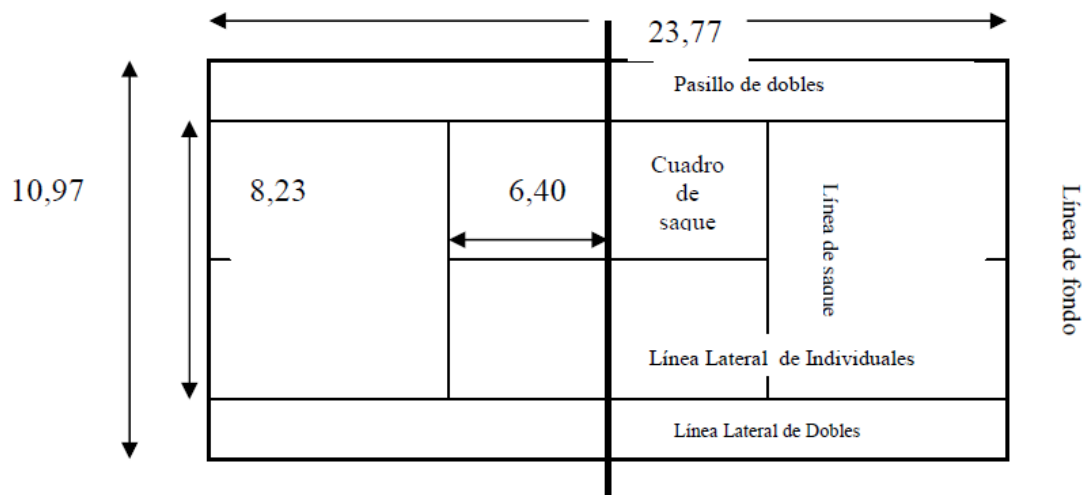


Figura 1.1 Dimensiones reglamentarias de una pista de tenis y denominación de líneas y espacios

Los jugadores tienen que mover raquetas de alrededor de 69 cm de largo y una anchura entre 25 y 28 cm en la cabeza de la raqueta. El peso de las raquetas modernas oscila entre 269 y 312 gramos, y la gran mayoría ronda los 300 gramos. Además, entre las raquetas existen diferencias importantes en su composición, en el grosor del marco, el balance, la rigidez del marco, el cordaje, la tensión de las cuerdas y el patrón del encordado, que son escogidas personalmente por el jugador en función de su estilo y patrón de juego, con el fin de conseguir las mejores prestaciones para su rendimiento.

#### *Las competiciones y la clasificación*

Las competiciones en tenis son muy frecuentes a lo largo de una temporada, oscilando entre 3 y 4 en etapas de iniciación, hasta 20 o 30 en el alto nivel, y con una duración de 4 a 7 días en función de la categoría. La exigencia del circuito nacional e internacional obliga a competir muchas semanas al año para poder escalar en la clasificación y obtener puntos. Esto permite optar a cuadros finales de competiciones importantes y obtener colocaciones más favorables en los sorteos, lo cual retrasa el enfrentamiento con los mejores y reduce el riesgo de perder los puntos obtenidos en la temporada inmediatamente anterior. Por tanto, establecer un adecuado calendario de competición es fundamental para la progresión del jugador. Sin embargo, el calendario siempre está sujeto a cambios, ya que, al ser la competición un formato eliminatorio, es difícil prever cuántos partidos se van a jugar en cada competición, y, por tanto, el resultado final de cada torneo puede provocar la modificación del calendario previsto.



En la mayoría de las competiciones y torneos se juega un partido individual o dos como máximo al día, o un individual y un doble, con lo que el jugador suele tener un día aproximadamente para recuperarse antes del siguiente partido. Si el jugador consigue alcanzar la final, disputa aproximadamente entre 6 y 7 partidos en una semana. En algunos casos, cuando las competiciones tienen fase previa, pueden llegar a jugar hasta 14 partidos seguidos en caso de pasar todas las rondas y ganar el campeonato. Las competiciones por equipos tienen otras peculiaridades, pero también hay que tenerlas en cuenta ya que se pueden acumular varios partidos seguidos en un mismo fin de semana.

#### *Factores condicionales de la competición y demandas fisiológicas*

Uno de los factores más relevantes que determinan las características físicas y técnicas de la competición de tenis es el tiempo del que disponen los jugadores para recuperar o descansar durante el partido. Los cambios en el reglamento han reducido los tiempos de descanso a 25 segundos entre puntos, 90 segundos en los cambios de lado y 120 segundos al finalizar cada set. Estos y otros elementos estructurales de la competición se recopilan en la tabla 1.1, cuyo contenido se basa en diferentes publicaciones y estudios (Aparicio, 1998; Bergeron et al., 1991; Christmass et al., 1998; Davey, et al., 2003; O'Donoghue & Ingram, 2001; Smekal et al., 2001; Weber, 2003; 2007; Johnson & McHugh, 2006; Fernández-Fernández et al., 2005; 2006; Martin et al., 2016).

A partir de los datos de la tabla 1.1, se podría decir que el tenis es un deporte de duración variable, que suele sobrepasar la hora de juego, pero con un tiempo real de actividad muy por debajo de la duración total del partido, sin llegar a sobrepasar el 30% de este. A su vez, sus acciones son cortas e intermitentes con intervalos de pausa de diferente extensión. De este modo, la duración de los puntos y la pausa entre puntos debería ser una de las referencias importantes para programar el entrenamiento.

El juego del tenis tiene un componente técnico importante compuesto por numerosos golpes y desplazamientos, que suponen esfuerzos de alta o muy alta intensidad, alternados con intervalos de descanso. Los golpes requieren una alta velocidad y precisión, y los desplazamientos se caracterizan por repetidos cambios de dirección, salidas y paradas, donde tiene un papel fundamental la capacidad de acelerar y desacelerar en muy pocos metros.

Tabla 1.1 Datos sobre las características físicas y técnicas de la competición en tenis

<b>Fracción de juego</b>	<b>Golpe</b>	<b>Punto</b>	<b>Juego</b>	<b>Set</b>	<b>Partido</b>
Duración		4 – 9 s	2 – 8 min	30' a 1 hora	1 – 4 horas
Actividad/pausa Pausa		1:1,5 Pausa reglamentaria entre puntos: 20 s	1:4 Pausa reglamentaria entre juegos: 90 s	Pausa reglamentaria entre sets: 120 s	Descanso: un día o dos entre partidos.
Rango del número promedio golpes		3 – 5	15 – 40	300 - 350	680 golpes (3 sets) 806 y 1445 golpes (5 sets)
Rango de número promedio saques: 1 <sup>er</sup> servicio			7,8 ± 3,2	60 - 80	253 ± 25 en partido de 3 horas de duración
Número de esfuerzos de alta intensidad	547 ± 93 golpes de fondo y 253 ± 25 servicios para partidos de tres horas de duración, total 800 ± 59 golpes o esfuerzos de alta intensidad				
Distancias aproximadas	80%: 2.5m 10%: entre 2.5 y 4.5 m 5%: más de 4.5 m	8 – 12 m		850 m	3000 m (3 sets) 4250 m (5 sets)
Número de cambios de dirección		De 3 a 7			

Dentro de las variables fisiológicas del tenis, la media del consumo máximo de oxígeno en mujeres tenistas es de 45 ml/kg/min y de 55 ml/kg/min en hombres (Fernández-Fernández et al., 2006). Según este estudio, estos valores son moderadamente altos en comparación con personas desentrenadas, pero es inferior a otros deportes de similares características intermitentes como el rugby, el fútbol o el bádminton. Datos similares obtiene Kovacs (2007), estableciendo como mínimo  $>42$  ml/kg/min en mujeres y  $>50$  ml/Kg/min en hombres. Datos más precisos sobre el  $\text{VO}_2$  se obtuvieron en estudios realizados con analizadores de gases portátiles. Estos estudios indicaron unos niveles de  $\text{VO}_2$  en el partido de tenis de 23 a 29 ml/kg/min., que representan alrededor del 50% del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  (Smekal et al., 2001).

Si consideramos que la frecuencia cardiaca máxima ( $\text{FCmáx}$ ) que un tenista puede alcanzar es de 190-200 lpm después de un peloteo largo e intenso, podríamos determinar que la frecuencia cardiaca (FC) de umbral oscilaría entre 170 y 180 lpm (Karvonen and Vourimaa, 1988). Otros autores consideran que la FC media en un partido de tenis es del 60-80% de la FC máxima (Fernández-Fernández et al., 2006). La relación ejercicio-recuperación de la FC que se da en un partido es de 1:2,5. Esto hace que la FC permanezca relativamente estable (140-160 ppm), pero en los peloteos largos y rápidos esta puede llegar a 190-200 lpm (König et al., 2000). Estos esfuerzos suelen ser muy cortos, y una buena capacidad de recuperación de este tipo de esfuerzos de alta intensidad permite pensar en el siguiente punto.

La concentración de lactato en un partido de tenis fue medida por Vergauwen et al. (1998), encontrando el pico más alto de lactato en  $9,6 \pm 0,9$  mmol/l en sangre, coincidiendo con los momentos en que el rendimiento disminuía. Sin embargo, estudios previos, metodológicamente contrastados, revelan que la concentración media de lactato durante un partido de tenis oscila entre 1,8-2,8 mmol/l (Ferrauti et al., 2003; Bergeron & Keul 2002; Smekal et al., 2003). Ferrauti et al. (2001) observaron una concentración máxima de lactato de  $1,53 \pm 0,65$  mmol/l a los 60 minutos de juego en un partido individual de aproximadamente 120 minutos de duración. Solo Christmass (1998) y Fernández-Fernández (2006) obtuvieron valores algo más altos con  $5,86 \pm 1,33$  mmol/l y 8 mmol/l, respectivamente, en algunas fases de esfuerzos largos e intensos.

Para König et al. (2000), la intensidad en el tenis oscila entre el 60 y el 70% del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , y la energía requerida es proporcionada principalmente por el metabolismo energético

aeróbico excepto en los periodos de alta intensidad, que proviene de la glucólisis anaeróbica. De estas aportaciones se deduce que el tenis es especialmente exigente con el metabolismo anaeróbico aláctico al realizar acciones muy cortas y de muy alta intensidad (ATP-PC) y el metabolismo aeróbico, interviniendo en menor medida el metabolismo anaeróbico láctico, aunque, como ya vimos anteriormente, en determinadas acciones, la concentración de lactato llega a 8-9 mmol/l. Recientemente, la opinión de los investigadores sobre el tipo de metabolismo más relevante en el tenis ha dejado atrás la idea tradicional de que lo importante era tener una buena “resistencia aeróbica”. Esto era debido a que utilizaban la frecuencia cardiaca media como medida del consumo de oxígeno, que para ejercicios de carácter intermitente como el tenis no es representativa del tipo de esfuerzo realizado.

De este modo, la prevalencia de cada una de las vías metabólicas va a depender de los tiempos de descanso entre los esfuerzos (puntos, juegos...) y del período del partido en el que se encuentre el jugador, ya que todos los puntos no se podrán jugar a la misma intensidad por razones de dosificación, de táctica o por el desgaste de los depósitos de glucógeno, ATP o PC. El hecho de que los valores de lactato, de porcentajes de CMO y de FC no se mantengan estables o tengan una progresión lineal como podría ocurrir en una carrera o en un deporte cíclico, impide afirmar que exista un predominio de un tipo de metabolismo concreto en el tenis. Pero ciertamente, si practicamos un tenis agresivo, con una alta velocidad de golpeo para definir los puntos con prontitud, la prevalencia será un metabolismo anaeróbico, aunque la capacidad de regenerar ATP, de reutilizar lactato y de disminuir las pulsaciones tras cada esfuerzo intenso, factores relacionados con el metabolismo aeróbico, son clave para mantener un alto rendimiento físico (Kovacs, 2006).

Por la complejidad estructural del juego del tenis y la gran cantidad de variables que influyen en su rendimiento, no es fácil establecer datos concluyentes respecto a qué circunstancias y elementos determinan el éxito o no de las acciones (Torres y Carrasco, 2004), y por ello el tenis resulta difícil de analizar. Además, el tenis es un deporte que se caracteriza por una gran imprevisibilidad, ya que el resultado del partido depende de numerosos factores como la duración de los puntos y los partidos, la selección de tiros, la estrategia y el oponente, que determinan las exigencias del juego del tenis (Kovacs, 2006). Estos factores condicionan el diseño del entrenamiento y, por consiguiente, es necesaria

la comprensión de las variables fisiológicas y ambientales de las que depende el rendimiento.

La gran variedad de situaciones en las que se desarrolla un deporte intermitente como el tenis, sugiere que para que el trabajo de resistencia en este deporte sea específico se deben estimular en la medida de lo posible conjuntamente todas las vías energéticas, aunque sin sobrellevarlas a sus extremos. En este sentido, la práctica de partidos o situaciones parciales de partidos, junto con los ejercicios técnico-tácticos de repeticiones de golpes y desplazamientos, controlando que el volumen, la velocidad y los tiempos de recuperación (intensidades) se ajusten a las situaciones reales de competición, constituyen una parte fundamental del entrenamiento de resistencia en tenis.

#### *Tipos de golpes y desplazamientos en el tenis*

Aunque en nuestro estudio no se analizan problemas relacionados con la táctica, es cierto que la técnica condiciona la táctica, por lo que mencionamos brevemente la relevancia que puede tener la táctica en el desarrollo del juego. No es suficiente que un jugador conozca todos los golpes, sino que tiene que escoger entre ellos con el fin de dominar el juego, siendo muy importante que encuentre lo más rápidamente posible las debilidades técnicas del contrario para elegir el tipo de golpe más conveniente para ganar el punto, tratando de disimular o compensar las debilidades técnicas propias a fin de que el adversario no pueda aprovecharse de ellas.

El tenis es un deporte eminentemente técnico debido a la gran diversidad de movimientos y a la precisión que requieren, de ahí que tenga un alto componente de carácter coordinativo. La técnica juega un papel fundamental para poder alcanzar un alto nivel, ya que una buena técnica significa una correcta aplicación de la fuerza, y por ello una mayor velocidad de la bola para una misma fuerza muscular, con la consiguiente eficacia en los golpes y economía energética.

Todos los golpes en tenis son acciones acíclicas, ya que están claramente definidos el principio y el fin de cada movimiento sin repetición de ninguna fase. Dada la alta variabilidad de situaciones en la que se realizan los golpes, la técnica del tenis es abierta en todos los golpes excepto en el saque, que es cerrada. Esto significa que el saque es el golpe que menos depende de las circunstancias externas al jugador, y esto permitirá que su análisis y control pueden ser más precisos.

El objetivo de la ejecución de cada golpe es proyectar un objeto con precisión y con exigencia de velocidad con el fin de impedir la devolución de la bola por el contrario o dificultar su devolución. Cada una de las múltiples y variadas ejecuciones que se dan en un partido de tenis y sus requerimientos se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Golpes de fondo (derecha y revés): esfuerzos muy cortos (2-3 s) de intensidad media y alta, repetidos durante todo el partido.
- Servicios: esfuerzos muy cortos (3-4 s) de alta intensidad.
- Remate: esfuerzos muy cortos (1-2 s) de alta intensidad, menos frecuentes y muy explosivos.
- Voleas (de derecha y de revés): esfuerzos muy cortos (0,5-1 s) con escaso tiempo de reacción, poco frecuentes pero decisivos y con características biomecánicas diferentes a los golpes de fondo. Requieren gran capacidad de anticipación y tiempo de reacción reducido.

Además de los golpes, los desplazamientos en la pista de tenis son requeridos para ejecutar cada golpe en condiciones favorables, ya que esto aumentará la probabilidad de que las devoluciones sean eficaces y eficientes. El objetivo de los desplazamientos es recorrer una distancia determinada, en algunos casos en el menor tiempo posible, pero ajustando el movimiento a la situación de la bola en el campo y a la velocidad de esta. En el argot del tenis los desplazamientos también se conocen como “juego de pies”.

Desde el punto de vista de la cinemática, los desplazamientos son las acciones cíclicas del tenis, las cuales se clasifican en las siguientes:

- Carreras laterales. Son los más frecuentes. Pueden ser de media, alta y muy alta intensidad. Suelen utilizarse para las recuperaciones y las entradas hacia delante/diagonal y salidas hacia atrás con respecto a la bola. Para aumentar la velocidad de desplazamiento, a veces se utilizan los “pasos cruzados”.
- Carreras frontales. Son menos frecuentes que las laterales. Pueden ser de media, alta y muy alta intensidad. Son explosivas hacia delante o diagonales con bolas alejadas o anguladas. En este tipo de desplazamiento tendría un papel fundamental la capacidad de acelerar y desacelerar en muy pocos metros.
- Cambios de dirección. Son esfuerzos muy cortos de alta intensidad. Exigen alta explosividad y equilibrio.

- Salto de lectura. Es otro tipo de movimiento que sucede cuando el jugador tiene tiempo suficiente para recuperar la posición casi al centro y está a la espera de que el contrario conecte su golpe e intenta adivinar (leer) la trayectoria del mismo. Esta acción es un salto de recolocación de un segundo o menos de duración. En los restos y en la zona de red deben ser más explosivos para moverse rápidamente al lado por donde viene la bola.

### *Conceptos biomecánicos aplicados a la técnica del tenis*

Desde el punto de vista biomecánico, el objetivo de los golpes en tenis es imprimir a la pelota una cierta velocidad mientras mantenemos un aceptable nivel de control y precisión (Elliott, 2008).

La raqueta parte de velocidad cero y el jugador la acelera para que en el instante del impacto con la pelota la velocidad sea la máxima (Knudson & Bahamonde, 2001). Por tanto, la velocidad de la raqueta se gana progresivamente durante el movimiento de esta hacia delante. Para ello, el cuerpo se coloca en una postura ventajosa que optimice el rango de movimiento, tanto de la raqueta como del centro de masas del tenista. Además, el estiramiento de los músculos proporciona el efecto producido por el ciclo estiramiento-acortamiento en la fase concéntrica de avance a la pelota.

La velocidad con la que la pelota sale despedida de la raqueta depende de tres variables fundamentales: la velocidad de la pelota antes del impacto, la velocidad de la raqueta y las características de la raqueta (Bermejo, 2013). En estas tres variables nos vamos a centrar al hablar de la velocidad de la raqueta, ya que uno de los propósitos de este estudio es analizar la capacidad de los jugadores para proporcionar velocidad a la bola.

La velocidad de la raqueta procede de los movimientos preparatorios del jugador antes del impacto, como son la colocación de los pies, el impulso de la raqueta atrás o carga y el swing o movimiento de la raqueta hacia delante, todo ello realizado en una acción muscular de ciclo estiramiento acortamiento, dando como resultado un desplazamiento angular y momento lineal determinados.

La precisión es el segundo componente de la eficacia del golpe, y hace referencia a la trayectoria de la pelota, la cual es consecuencia de la trayectoria de la raqueta y su ángulo en el impacto. El ángulo de la raqueta en el impacto está determinado por la empuñadura,

el ángulo de la muñeca y la posición del cuerpo. La trayectoria de la raqueta determina el tipo y grado de efecto proporcionado a la pelota.

Como todos los movimientos, los golpes en tenis se rigen por la igualdad entre el impulso y la cantidad de movimiento o movimiento lineal ( $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$ ). Dado que el objetivo del golpeo es conseguir mayor velocidad de la bola, podemos transformar esta ecuación en la siguiente:  $v = \frac{F \cdot t}{m}$ . Si tenemos en cuenta que la masa (raqueta y pelota) es estable y considerando que la distancia del recorrido de la raqueta hasta tomar contacto con la bola es también estable, la velocidad solamente podrá mejorar aumentando la fuerza aplicada durante la trayectoria de la raqueta, lo que, necesariamente, reduce el tiempo de aplicación de fuerza (tiempo del desplazamiento de la raqueta). Es decir, la velocidad de la raqueta al tomar contacto con la pelota dependerá de la fuerza aplicada en la unidad de tiempo (RFD) ante una misma distancia de recorrido de la raqueta. Esto significa que los golpes en los que se pretenda la máxima velocidad podrían beneficiarse de un recorrido mayor de la raqueta previo al golpeo siempre que para una misma distancia aumente la RFD y, por consiguiente, se reduzca el tiempo de ejecución del golpe, lo que se traducirá en mayor velocidad final de la raqueta.

Para fundamentar el proceso de obtención de velocidad de la raqueta nos basaremos en la terminología del *BIOMECH*, que engloba los principios biomecánicos esenciales que definen la técnica del tenis. Este término fue creado por Reynolds en 1994 y propuesto por la LTA (Lawn Tennis Association) en 1995 (Elliott et al., 2009). Desde 1995 es utilizado por la Federación Internacional de Tenis para explicar los requisitos de eficacia y eficiencia en los golpes de tenis. Consta de seis conceptos biomecánicos que se corresponden con sus iniciales, Balance, Inercia, Oposición de Fuerzas, Momento, Energía Elástica y Cadena Cinética.

*Balance.* El balance hace relación al equilibrio de fuerzas. Desde el punto de vista de la física, relacionado concretamente con la 1ª Ley de Newton, el equilibrio tiene que ver con las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. Un cuerpo se encuentra en equilibrio cuando la resultante de las fuerzas que actúan sobre él es nula, lo cual quiere decir que la fuerza se compensa. En una situación de equilibrio la proyección del centro de gravedad debe encontrarse dentro de la base de sustentación. En nuestro caso, la base de sustentación es el área comprendida entre los puntos de apoyo más externos de los pies.



El balance o equilibrio en los golpes de tenis debe mantenerse en una base de sustentación reducida, ya que esto es favorable para alcanzar un mayor impulso en los golpes y desplazamientos (Elliott et al., 2009). Si la base de sustentación es demasiado estable o amplia se moverá hacia los lados, pero más lentamente, esto se refleja en el “split step” o salto de lectura en la posición de preparados (figura 1.2).



Figura 1.2 Salto de lectura o split-step previo al golpeo

*Inercia.* La inercia es la tendencia de un cuerpo a resistir un cambio en su movimiento (1ª Ley de Newton). Según esta ley, si la fuerza neta sobre un objeto es cero, el objeto permanecerá en reposo o en movimiento con velocidad constante a no ser que actúe sobre él una fuerza externa.

Para los desplazamientos en tenis el jugador necesita estar activado entre golpes (salto de lectura: figura 1.2) para reducir la inercia lineal y vencer la resistencia al desplazamiento o al cambio de velocidad si se está desplazando.

La inercia angular o momento de inercia es diferente a la inercia lineal, ya que implica movimiento rotacional. Aplicada a los golpes en tenis, se tiende a reducir dicha inercia angular, para una menor resistencia a la rotación, que permitirá la acción posterior más rápida y mayor velocidad en los giros. Esto se observa en los golpes con cambio de radio de giro en los que la distancia y la flexión del codo en el armado inicial se acortan con respecto al cuerpo. Por ejemplo, en el revés a una mano, cuando el jugador lleva hacia

atrás su brazo dominante flexionado (figura 1.3, imagen izquierda), y en la posición de carga atrás del servicio (figura 1.3, imagen derecha), donde los jugadores flexionan el codo y acercan la raqueta al cuerpo para acortar la distancia entre la raqueta y el cuerpo, consiguiendo de este modo reducir el momento de inercia y así poder girar el tronco con mayor velocidad para lanzar posteriormente el brazo hacia la pelota.



Figuras 1.3 Armado en el revés a una mano (izquierda) y posición de carga en el servicio (derecha)

*Oposición de fuerzas.* La oposición de fuerzas se basa en la 3ª Ley de Newton o Principio de Acción y Reacción, que establece que siempre que un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, el segundo ejerce una fuerza sobre el primero cuya magnitud es igual, pero en sentido contrario a la primera. Según esta ley, las extremidades inferiores del tenista aprovechan las fuerzas de reacción u oposición del suelo en cualquier acción, como en cualquier desplazamiento o cambio de dirección, en los saltos para rematar y volear, en el “split-step” y en los impulsos o saltos verticales en los golpes de fondo y el servicio. Para contribuir a una mejor transmisión de la fuerza de reacción del suelo también se utilizan las extremidades superiores. Por ejemplo, en el golpe de derecha y en el saque el brazo no dominante suele reaccionar hacia el cuerpo en el momento del impacto, y lo mismo ocurre en el revés a una mano, pero el movimiento es hacia fuera. Aunque pueden darse diferentes acciones según el tipo de golpeo, todas ellas tienen el objetivo de contrarrestar la fuerte acción en el impacto, ayudar a las rotaciones del cuerpo o evitarlas y mantener el equilibrio (figura 1.4).



Figura 1.4 Reacciones de los diferentes segmentos del cuerpo tras el impacto en varios golpes

*Momento lineal y angular.* La velocidad de la raqueta depende de una combinación de movimientos lineales y de rotación de los segmentos corporales respecto a las articulaciones. Por tanto, en los golpesos existe una estrecha relación entre el movimiento angular producido en las articulaciones y la velocidad distal de la mano y la raqueta en el instante final del golpe. Esta interacción se observa cuando los jugadores, para aumentar la velocidad de la raqueta, hacen un conjunto de actuaciones como son aumentar la velocidad del recorrido (swing), rotar hacia delante de manera rápida (rotación + swing hacia delante), seguir una secuencia de proximal a distal y efectuar un golpeo rítmico (suma de velocidades). En jugadores de nivel avanzado (figura 1.5) se puede observar que en una derecha potente, el brazo y la raqueta empiezan a rotar hacia delante cuando el tronco ya ha alcanzado su máxima velocidad rotacional (Elliott et al., 2009).

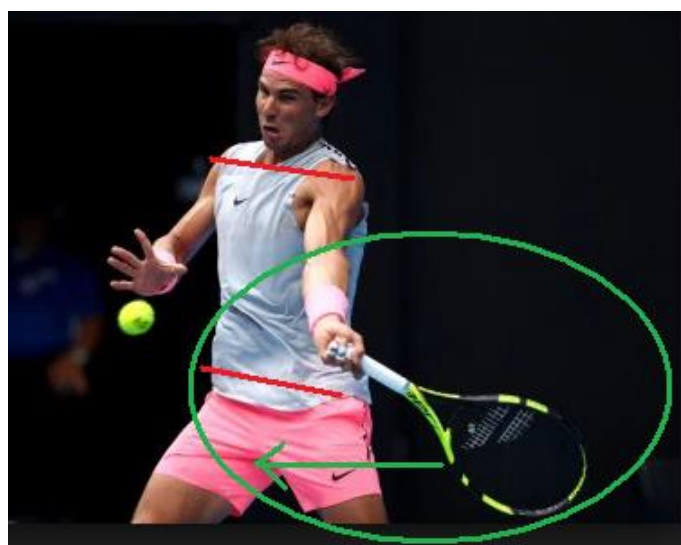


Figura 1.5 Rotación hacia delante del tronco previo al impacto

Consecuentemente, la velocidad final de la raqueta resulta de la suma de la velocidad lineal hacia delante más la velocidad rotacional angular de la extremidad superior y la raqueta. A todo ello hay que unirle la distancia del hombro al punto de impacto en la raqueta o radio de giro. En el golpe de derecha, la rápida rotación del tronco y el brazo hacia delante hará a menudo que la muñeca se relaje, aumentando de este modo el desplazamiento angular de la raqueta y extendiendo algunos músculos específicos (Elliott et al., 2009).

Para generar velocidad en la raqueta es necesario aplicar fuerza durante un recorrido e intervalo de tiempo determinados, esto también se explica mediante la Segunda Ley de Newton que, adaptada a los golpes en tenis, significa que la aceleración que se pueda imprimir a la raqueta es directamente proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa de la raqueta. Esta ley se expresa mediante la Ecuación Fundamental de la Dinámica:  $F = m \cdot a$ , donde  $F$  es la fuerza que aplica el tenista,  $m$  es la masa de la raqueta y  $a$  es la aceleración que se consigue merced a la aplicación de dicha fuerza.

Pero no únicamente la velocidad de la raqueta depende de la fuerza aplicada sino también del tiempo que estemos aplicando fuerza sobre la raqueta, por lo que podemos señalar que el cambio de cantidad de movimiento –producto de su masa por su velocidad– depende de la magnitud de la fuerza aplicada y del intervalo de tiempo durante el cual la fuerza se aplica. Pero como la distancia recorrida en la ejecución del golpe hasta contactar con la bola es prácticamente la misma para un mismo tipo de golpe, la mejora de la velocidad dependerá de la fuerza aplicada pero siempre ante un tiempo de aplicación de fuerza progresivamente menor, es decir, dependerá de la mejora de la producción de fuerza en la unidad de tiempo, siendo el tiempo, necesariamente, cada vez menor. Por tanto, si se busca una mayor distancia de aplicación de fuerza (mayor recorrido de la raqueta antes del impacto con la bola), el golpe será más efectivo (mayor velocidad) si aumente la magnitud de la fuerza aplicada durante dicho recorrido, mientras que para aquellos gestos que requieren un esfuerzo menor y una alta precisión, una distancia de aceleración menor, normalmente, será suficiente e incluso más efectiva (figura 1.6).



Figura 1.6 Golpe de fuerza (izquierda) y golpe de precisión (derecha)

Además de los movimientos de las extremidades superiores y del tronco, los tenistas generan el momento lineal desde el suelo mediante el juego de pies, por lo que la acción de las piernas resulta clave en la generación de velocidad de raqueta en todos los golpes.

Se ha comprobado (Elliott et al., 2009) que los jugadores que sacaban con la técnica “pies juntos” generaron una fuerza de frenado al avanzar el pie trasero hacia el pie delantero antes del impacto. Este movimiento tiende a reducir la velocidad del impulso de avance del cuerpo, pero aumenta el impulso vertical, resultando una posición más alta en el instante de impacto. Con la técnica de “pies separados”, los jugadores generaron más fuerzas de propulsión hacia la red, teniendo así un mayor momento hacia adelante, lo que puede facilitar la rapidez con la que un jugador se desplace hacia la red (figura 1.7). Por tanto, la técnica “pie separados” genera más impulso horizontal y la técnica “pie juntos” genera más impulso vertical, debido a una mayor intervención de la pierna trasera proporcionando un impacto más alto. Los dos tipos muestran cantidades equivalentes de fuerza vertical siempre y cuando la pierna trasera intervenga suficientemente y de forma efectiva en dicho impulso (Elliott & Wood, 1983; Bahamonde & Knudson, 2000; Sweeney, 2005; Reid et al., 2008).





Figura 1.7 Saque con pies separados (izquierda) y con pies juntos (derecha)

En los golpes desde el fondo los jugadores transfieren su peso del pie trasero al pie delantero antes del impacto. Esta transferencia se da de manera diferente según la posición de los pies con respecto a la red. La “posición frontal-abierta” de los pies requiere una elevada rotación del tronco, sin embargo, las posiciones de lado transfieren el peso del cuerpo hacia la pierna adelantada, con lo que generan más momento lineal y horizontal en la dirección del golpe (figura 1.8).



Figura 1.8 Golpe de derecha en posición de lado (izquierda) y frontal o abierta (derecha).

*Energía elástica.* En todos los golpes actúa la energía elástica que se genera por el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) de la musculatura. Esta energía se crea durante la

fase del movimiento de la raqueta hacia atrás, y se aprovecha durante el cambio de sentido del movimiento mediante una acción explosiva en la fase concéntrica del movimiento (movimiento de la raqueta hacia la pelota). Se ha propuesto que el efecto del CEA puede incrementar desde un 10 a un 20% la velocidad de la raqueta (Elliott et al., 2003a).

El estiramiento previo proporciona un aumento de la estimulación muscular incrementando el pico máximo de fuerza desarrollada al inicio de la fase concéntrica, lo que se expresa como una mayor producción de fuerza en la unidad de tiempo (mayor RFD). (Kawakami et al., 2002).

Otro punto clave para lograr la máxima velocidad de saque es que junto con el estiramiento de los músculos anteriores del hombro (en particular los rotadores internos) en el momento de “pausa”, se dé una sincronización de la acción de las piernas (figura 1.9). Una acción vigorosa de las piernas posicionará la raqueta por detrás y lejos de la parte baja de la espalda en la preparación para el golpeo, maximizando de esta forma el CEA (Elliott, 2006).



Figura 1.9 Momento de “pausa” en la fase excéntrica del ciclo estiramiento-acortamiento en el servicio.

En los golpes de fondo, durante la preparación de la raqueta hacia atrás, la rotación de los hombros es mayor que la de las caderas (figura 1.10). Este posicionamiento de los hombros con respecto a las caderas durante la carga atrás favorece la acción del CEA.



Figura 1.10 Rotación de los hombros y las caderas al final de la fase excéntrica en la derecha.

El ángulo entre los planos de los hombros y las caderas es mayor en el golpe de derecha que en los reveses, y es mayor en el revés a una mano ( $30^\circ$ ) que en el de dos manos ( $20^\circ$ ) (figura 1.11) (Reid & Elliott, 2002).

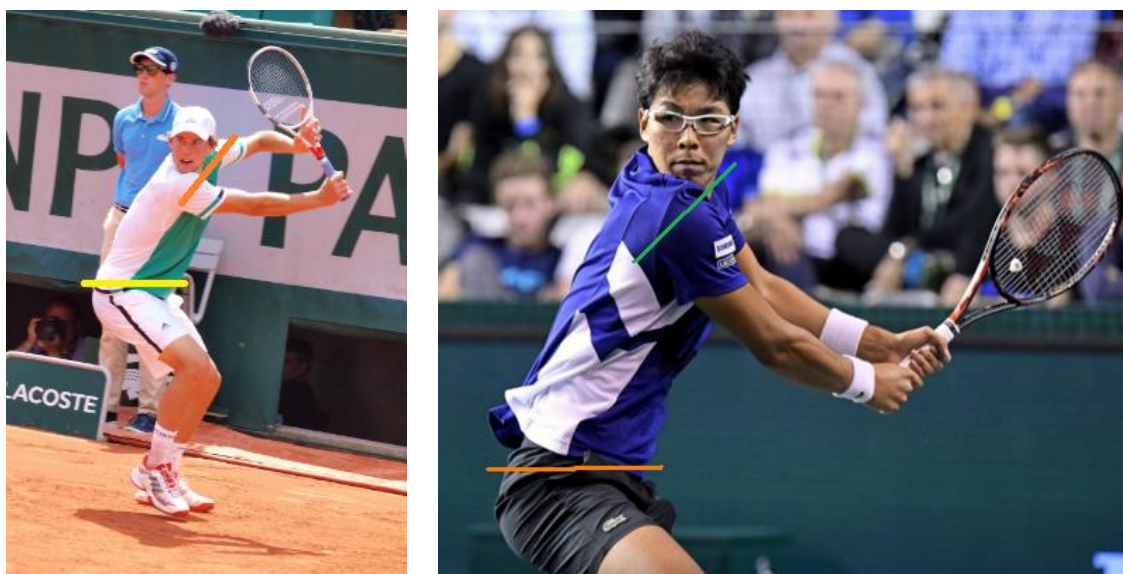


Figura 1.11 Ángulo entre los planos de hombros y caderas en el golpe de revés a una mano y a dos manos.



*Cadena cinética.* El impulso mecánico en los golpes de tenis depende de una cadena cinética abierta, ya que la superficie de contacto con el móvil (raqueta) se mueve libremente. La cadena cinética es definida por Groppe (1984) como la cadena de coordinación que comprende los segmentos del cuerpo que actúan como un sistema de eslabones de una misma cadena, en el que la fuerza generada por un eslabón o parte del cuerpo es transferida sucesivamente al siguiente eslabón. Por tanto, el objetivo de las rotaciones secuenciales consiste en que el movimiento se inicia en los segmentos alejados del extremo que realiza el contacto con la pelota. Los segmentos del cuerpo van aumentando su velocidad hasta que se detienen al llegar al máximo de velocidad, transmitiéndosela al siguiente segmento que tendrá una velocidad mayor que si hubiera empezado desde cero o parado. Esta acción conjunta de piernas y extremidades superiores es importante para conseguir que la pelota viaje a elevada velocidad en la mayoría de los golpes (Bermejo, 2013).

La transferencia de velocidad desde los segmentos proximales (pie, pierna, muslo, tronco) a los segmentos distales (brazo, antebrazo, mano), o cadena cinética, es similar al movimiento que se produce en un látigo, en el que la energía se va transmitiendo desde la empuñadura hasta la punta del látigo. Esto significa que la acción coordinada de movimientos desde los pies hasta la empuñadura de la raqueta permite que la velocidad de golpeo sea mayor que si el golpeo solo se realizara utilizando la musculatura del brazo (Bunn, 1972; Elliott, 2003; Elliott et al., 1986; Liu et al., 2000; Marshall & Elliott, 2000; Plagenhoef, 1971; Putnam, 1993; Subijana & Navarro, 2007; Van Gheluwe & Hebbelinck, 1985).

En este tipo de cadena cinética abierta, los segmentos proximales tienen que desarrollar mucha fuerza a baja velocidad y los segmentos distales tienen que desarrollar altas velocidades con cargas ligeras. Esto requiere una elevada exigencia mecánica y cualquier fallo de coordinación supone una pérdida de eficacia o riesgo de lesión (Bermejo, 2013). La eficacia de la cadena cinética en el golpeo depende de la posición de los segmentos en el espacio, del aprovechamiento del ciclo estiramiento-acortamiento (CEA), del principio de acción-reacción y del principio de coordinación de impulsos parciales o secuencia, que comienza con las fuerzas de reacción del suelo y termina con la transferencia del momento de la raqueta a la pelota (Herring & Chapman, 1992; Putnam, 1993) (figura

1.12).



Figura 1.12 Pirámide de la transferencia de fuerza en la cadena cinética del golpeo (Elliott et al, 2003a).

#### *Importancia de la velocidad de movimiento y de golpeo en el tenis*

La velocidad en el tenis se suele asociar con términos como rapidez de movimiento, celeridad del juego, explosividad de desplazamiento, agilidad, velocidad de golpeo, velocidad de raqueta, velocidad en el impacto o velocidad de la pelota..., pero todas tienen en común el concepto de velocidad como capacidad de aplicar cada vez más fuerza en menos tiempo. El uso de velocidad de golpeo, velocidad de raqueta o velocidad en el impacto son prácticamente equivalentes a velocidad de la pelota, ya que lo que se quiere expresar y se espera que ocurra al emplear estas expresiones es la mejora de la velocidad de la bola. De hecho, la velocidad de salida de la pelota depende, por un lado, de la velocidad lineal de la raqueta en el impacto, que es el resultado de la cantidad de fuerza aplicada, de la coordinación de los impulsos parciales, del recorrido de aceleración de la raqueta y de la conversión del momento angular a momento lineal (Bermejo, 2013).

Dado que el rendimiento en el tenis se ve influido, entre otros factores, por la velocidad, que juega un rol principal (Vaverka and Cernosek, 2016), la velocidad de golpeo en el tenis ha adquirido gran importancia, y como consecuencia los estudios biomecánicos relacionados con ella han proliferado tanto para el saque como para los golpes de fondo

(Landlinger et al., 2012). La gran mayoría de estos estudios parten de la premisa de que la velocidad de la raqueta en el impacto es decisiva para mejorar la velocidad de la pelota (Cross, 2001).

Cabe aquí señalar que existe confusión entre los entrenadores de tenis a la hora de utilizar el término “aceleración” porque lo confunden con velocidad, y suelen pensar que la máxima aceleración se da en el momento del impacto, en el cual la aceleración es cero, mientras que lo que adquiere su máximo valor es la velocidad. En este sentido, aunque Elliott et al. (1995) observaron que la velocidad en el momento del impacto ( $\sim 33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) fue  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  inferior a la máxima, Knudson & Bahamonde (2001) concluyeron que es probable que los estudios en los que se informa de una disminución en la velocidad de la raqueta antes del impacto (Elliott & Marsh, 1989; Elliott et al., 1989; Sprigings et al., 1994; Wang et al., 1998; Mitchell et al., 2000) estén cometiendo un error de medida, que podría deberse al suavizado de la velocidad.

Aunque existen numerosos estudios que aluden a la importancia de la velocidad de golpeo, gran parte de ellos están tratados desde el punto de vista de la biomecánica, con el objetivo de explicar cómo se debe golpear para conseguir una mayor velocidad, pero muy pocos analizan la importancia de la velocidad de golpeo en el rendimiento en el tenis. Efectivamente, aunque, según los expertos y los profesionales del tenis, en los últimos años la velocidad de la raqueta se ha convertido en un factor limitante del rendimiento en el tenis de elite, rara vez se tuvo en cuenta en el diagnóstico del rendimiento (Landlinger & Benko, 2005). Como ha indicado Elliott (2003), aunque se han estudiado distintos factores que son responsables de producir golpes explosivos, la importancia de la velocidad de la bola podría haber sido subestimada hasta ahora. Sin embargo, hay estudios que confirman la importancia de la velocidad de golpeo en el rendimiento. O'Donoghue & Ballantyne (2003) describieron una relación significativa entre la velocidad del saque y la probabilidad de ganar el punto. En un estudio longitudinal de 9144 partidos masculinos entre 1999-2008 en los Grand Slam, los jugadores que sirvieron menos de cuatro “aces” en un partido tuvieron menos probabilidades de ganarlo que aquellos que sirvieron de cinco a ocho “aces” (Shang-Min et al., 2013). Este mismo estudio señala que los primeros servicios son los mejores predictores de los resultados de los partidos. Los “aces”, los primeros servicios válidos y los puntos ganados de segundo servicio también aumentaron las posibilidades de ganar. Cabe señalar que el “ace” va asociado a una alta

velocidad de la bola y que suele corresponderse con la velocidad máxima a la que es capaz de sacar un jugador, aunque, naturalmente, la culminación de un “ace” también depende del “resto” o devolución del servicio del contrincante.

La alta velocidad de la bola se ha convertido en un factor determinante en el éxito en el nivel de elite y un factor clave del éxito en el saque (Signorile, 2005; Sanz y Vila, 2003; Pugh et al., 2003; Cross & Pollard, 2009). Por ello, la importancia de la velocidad de la bola permite diferenciar a jugadores de distintos niveles. Landlinger et al. (2012) encontraron que la velocidad de la bola del golpe de derecha y el golpe de revés fue mayor en un grupo de jugadores de elite ( $p < 0,05$ ) en comparación con los sub-elites, y no hubo evidencia de que los jugadores que consiguieron mayor velocidad de la pelota fueran menos precisos que aquellos que alcanzaron menor velocidad, e incluso se observó una correlación negativa entre la velocidad de la pelota y el error medio para el revés paralelo ( $r = -0,7$ ;  $p < 0,01$ ). De acuerdo con los resultados de este estudio, la velocidad de la pelota parece ser un factor determinante que discrimina la elite de los jugadores de tenis los sub-elite.

La técnica de golpeo se ha identificado como una buena variable predictora del rendimiento (Birrer et al., 1986; Vergauwen et al., 2004; Baiget et al., 2008). Esto indicaría que los jugadores profesionales han perfeccionado su técnica y son capaces de proporcionar una velocidad muy alta a la pelota. Por esta razón, no es sorprendente que, como se ha indicado, un grupo de elite alcanzara velocidades de bola más altas para cada golpe y en cada situación que los jugadores de alto rendimiento (Landlinger et al., 2012). Según esta última afirmación, si definimos la técnica como la óptima aplicación de la fuerza (González-Badillo, apuntes de clase 2005), y teniendo en cuenta que una mayor aplicación de fuerza a la bola tiene como resultado una mayor velocidad de esta, se podría admitir que el incremento de la velocidad de la bola tiene relación con la mejora de la técnica.

#### *Evolución en el tiempo de la velocidad de la bola en el tenis*

Desde el año 2000 se viene comprobando el aumento progresivo de la velocidad del servicio en los cuatro “Grandes” torneos (Cross & Pollard, 2009). Desde el año 2000 a 2009, el número de radares utilizados para medir la velocidad fue aumentando y con ello el número de mediciones de la velocidad en los Grand Slams. Esto permitió observar el

incremento de las velocidades medias del primer y segundo servicio en el transcurso de estos años. Al principio solo resultaban llamativas las extraordinarias marcas de los mejores sacadores, como el ex número uno del mundo Andy Roddick en 2004 con  $246 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , Safin en 1999 con  $191 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , Philipoussis en 2000 con  $197 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , y el resto de jugadores se quedaban en una media de  $177 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , pero a partir del año 2006 la mayoría de los mejores jugadores rondaban los  $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  en los cuatros torneos más importantes del circuito (Cross & Pollard, 2009). Actualmente se han superado estas marcas con  $251 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  en 2011 (Karlovic) y  $263 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  en 2012 (Samuel Groth).

Los datos de velocidad del servicio en Wimbledon 2017 muestran que sigue incrementándose dicho valor. En esta ocasión el valor promedio de las velocidades medias de cada jugador en cada partido, medidas desde la primera ronda, fue de  $176 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , y la velocidad media superior fue conseguida por Anderson con  $202 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . En cuanto a las velocidades máximas en cada partido, la media de dichos valores fue de  $205,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , y tan solo seis jugadores de los 128 participantes en el cuadro final no alcanzaban una velocidad máxima de  $190 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , el 85% superaba los  $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  y el 27% superaba los  $215 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  de velocidad máxima. Además, se observa que los promedios de velocidad media ( $178 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) y máxima ( $206 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) en las rondas finales (desde octavos en adelante) son ligeramente superiores a los de las primeras rondas, con  $174$  y  $204 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , respectivamente. Estos datos se han calculado a partir de las estadísticas consultadas en la Web oficial de Wimbledon 2017 (Wimbledon 2017 Official Site by IBM). Por tanto, estas estadísticas confirmarían la conclusión de Elliott et al. (2003b), los cuales proponen que la capacidad de generar velocidad de la raqueta, con un nivel aceptable de control, es un factor clave para el buen rendimiento en el tenis.

#### *Evolución de la duración media de los puntos y la velocidad del juego*

Desde la década de los 90 hasta la actualidad se ha producido una gran evolución del juego y la duración media de los puntos ha disminuido sustancialmente (Kovacs, 2007). Actualmente la duración media de los puntos es netamente inferior a 10 segundos (O'Donoghue & Ingram, 2001; Smekal et al., 2001; Méndez-Villanueva et al., 2007; Morante et al., 2006; Hornery et al., 2007; Weber, 2003). En la misma línea, Takahashi et al. (2006) comprobaron que la duración de los puntos en la primera década de los años 2000 fue más corta que en la década precedente, y consideraron que esto se debía al aumento de la velocidad de la pelota. Un análisis de 252 partidos individuales en

profesionales mostró que los puntos en partidos femeninos tuvieron un promedio de 7,1 segundos de duración y fueron significativamente más largos que los masculinos (5,2 segundos) (O'Donoghue & Ingram, 2001). Como síntesis de estos estudios se deduce que el saque se ha convertido en uno de los golpes más importantes en juego del tenis, lo que permite a los jugadores ganar puntos sin ralis o siendo estos muy cortos (Carlton et al., 2006). Estos estudios concluyen que el acortamiento del tiempo en el intercambio en los puntos podría ser un factor relacionado con el aumento de la velocidad del juego.

#### *La velocidad del juego y la raqueta*

Las tácticas modernas exigen que los jugadores de tenis golpeen la pelota con la máxima velocidad y con un nivel aceptable de control (Girard et al., 2007). Los cambios en la tecnología de las raquetas también ayudan al aumento de la velocidad de salida de la pelota. A lo largo de los años, con los avances en ingeniería, la aparición de nuevos materiales, las mejoras en fabricación y los estudios físicos y biomecánicos, se ha hecho posible que la raqueta se convierta en un implemento cada vez más tecnológico (Knudson, 2008). Las consecuencias de estos avances son una mayor velocidad de salida de la pelota (Elliott et al., 1980) y un mayor control sobre su movimiento (Brody et al., 2002). Estos cambios han supuesto una evolución en la mecánica de golpeo, en el rendimiento y en las estadísticas del juego (Bower & Cross, 2005; Hazte, 1994; Knudson & White, 1989; Sheridan, 2006). De hecho, jugadores como Roger Federer, profesional desde 1998, se han tenido que adaptar a casi tres décadas de cambios en el tenis. Para ello, recientemente, decidió cambiar las características de su raqueta con el fin de obtener una mayor velocidad de salida de la pelota que le permitiera hacer frente a las nuevas exigencias del juego.

Sobre el peso de la raqueta y su influencia en la velocidad de salida de la pelota, Mitchell et al. (2000) llegaron a la conclusión de que una disminución en el momento de inercia de la raqueta puede aumentar significativamente la velocidad de la cabeza. Ante dos raquetas, una pesada y otra ligera, se comparó la velocidad máxima alcanzada, y los resultados indicaron que los jugadores encontraron dificultades para lograr la misma velocidad con la raqueta más pesada que con la ligera (Mitchell et al., 2000). Por tanto, las prestaciones de la raqueta es también un factor que el jugador debe controlar ya que pueden influir en su rendimiento junto con la capacidad de golpeo.

*Cambios en la velocidad de la bola como consecuencia de la fatiga*

Es razonable esperar que la fatiga muscular inducida por la prolongación de un partido de tenis pueda conducir a disminuciones significativas en las velocidades angulares máximas, la velocidad de la pelota, la altura del impacto y los cambios en la cinética de las articulaciones (Martin et al., 2016). Los resultados del estudio de estos autores mostraron una disminución en los valores medios de potencia para varios músculos de las extremidades superiores, lo que se puede interpretar como un indicador de fatiga muscular local. En la misma línea, Vergauwen et al. (1998) observaron una disminución modesta en la velocidad del servicio y los golpes de fondo y de la precisión (control motor) en el segundo servicio durante los partidos. Igualmente, en el estudio de Hornery et al. (2007), sobre las demandas energéticas en tenis, se resaltó el efecto de la fatiga sobre la pérdida de la velocidad de golpeo durante un partido de tenis. Ante un bajo estrés fisiológico, la precisión del golpe se mantiene en gran medida, mientras que la velocidad del golpe es más probable que se deteriore (Hornery et al., 2007). Sin embargo, Maquirriain et al. (2016), tras el análisis de las estadísticas del servicio en 15 partidos al mejor de cinco sets en Wimbledon 2015, con 30 jugadores analizados, muestran que con una duración media del partido de  $208,3 \pm 28,3$  min, la velocidad del saque fue de  $177,0 \pm 10,2$  km·h<sup>-1</sup> en el primer set y de  $176,1 \pm 11,7$  km·h<sup>-1</sup> en el quinto set ( $p = 0,34$ ), concluyendo que los tenistas profesionales son capaces de superar la fatiga y realizar golpes técnicos complejos, como en el servicio, de manera efectiva, en todos los partidos jugados en canchas de hierba y en partidos que duran más de 3 horas.

Por consiguiente, la medida de la velocidad de la bola puede resultar útil y eficaz para obtener información objetiva del estado de rendimiento del jugador, tanto en competiciones como en entrenamientos y en tests aplicados en el control del rendimiento.

*La velocidad del juego vista por los profesionales*

A continuación incluimos algunas opiniones y reflexiones de profesionales del tenis relacionadas con la posible relevancia de la velocidad del juego, ya que nos parecen portadoras de información válida, derivada de la práctica, acerca de la concepción actual del juego en el circuito ATP.

El destacado jugador español, Feliciano López, participante en 66 grandes, dio la siguiente respuesta a una pregunta en una entrevista para el periódico “AS” del 1 de junio de 2017: ¿Qué cree que ha cambiado más en el tenis desde que usted jugó su primer Grand

Slam en 2002? *“Sobre todo, la velocidad. Cuando empecé, era importante la táctica y analizar la manera de hacer daño. Ahora todo el mundo le pega muy fuerte y no te deja pensar”*.

Patrick Mouratoglou, coach de Serena Williams, explicó en el Diario Británico “The Mail”, del 16 de julio de 2017, qué había cambiado en el juego de Roger Federer en los últimos tres años y qué le ha llevado de nuevo a estar en lo más alto del ranking, *“Roger trabajó para desarrollar otro tipo diferente de juego, con mucha más agresividad, con un revés más rápido y plano. Resta de forma más agresiva y sube más a la red”*.

Francis Roig, actual entrenador-colaborador de Rafael Nadal, en la reciente publicación de la Federación Internacional de Tenis (Crespo et al., 2018), responde a las siguientes preguntas:

Pregunta: Hoy en día los jugadores de Alta Competición tienen buena técnica y están bien preparados físicamente. ¿La táctica puede ser básica para el éxito? ¿De qué manera?

Respuesta: *“Cada vez es más difícil aplicar diferentes tácticas, la velocidad de la pelota es mayor, los jugadores pegan más fuerte por lo que no tienes muchas opciones de hacer muchas cosas. La táctica te puede ayudar en momentos concretos, pero realmente lo que hará bueno al jugador será su calidad de golpes, una buena mentalidad y un buen físico”*.

Pregunta: Danos algunas normas tácticas que creas que pueden aplicar la mayoría de los jugadores.

Respuesta: *“Hay que jugar desde un punto de vista lógico, buscando un balance entre arriesgar y ganar el punto. Considero más importante jugar con velocidad y sacarle tiempo al rival que jugar más lento y con más colocación”*.

José Perlas, ex entrenador de Albert Costa, Carlos Moya, Juan Carlos Ferrero y actual entrenador de Fabio Fognini, en la reciente publicación de la Federación Internacional de Tenis (Crespo et al., 2018), responde a las siguientes preguntas:

Pregunta: ¿Cuáles son los aspectos fundamentales que tratas cuando planteas la táctica de un partido a tu jugador?



Respuesta: “... en el tiempo que llevo como coach de alta competición, esto ha cambiado mucho y cada vez se juega un tenis más físico y directo donde prevalecen la potencia y explosividad del inicio de la jugada, que marca en un 90% el resto de los golpes que van a suceder...”.

Pregunta: ¿Mejoran técnicamente su juego los grandes campeones?

Respuesta: “*Personalmente pienso que sí lo hacen. Un ejemplo de esto fue Albert Costa con su primer servicio. Las correcciones que se realizaron en sus apoyos le hicieron ganar unos 10-15 km·h<sup>-1</sup> la velocidad media de su saque durante el resto de su carrera y también un 10-15% de porcentaje de acierto en el primer servicio*”.

Estos comentarios hechos por tenistas, comentaristas, entrenadores y exjugadores que constantemente aluden a la velocidad del juego, a ser agresivo y a la importancia de sacar bien en un partido, son muestras vivenciadas de la gran relevancia que la velocidad de la pelota está adquiriendo en los últimos tiempos en el tenis mundial.

### ***Factores relacionados con el nivel deportivo o ranking***

#### ***Relación de la velocidad de golpeo en el servicio con el nivel deportivo o ranking***

Los estudios tienden a considerar que el nivel deportivo tiene una relación positiva con la velocidad alcanzada en los distintos golpes. Sin embargo, en la literatura se aborda muy someramente la velocidad de golpeo como posible variable que distinguiera los niveles deportivos y que formara parte de los cambios en el rendimiento en competición.

En los jugadores profesionales de tenis se registran en el servicio habitualmente velocidades de la bola de más de 200 km·h<sup>-1</sup>, y en los jugadores de nivel inferior (nivel nacional) las velocidades de la bola van desde 145 a 180 km·h<sup>-1</sup> (Bartlett et al., 1995; Elliott, 1986; Elliott & Wood, 1983). Además, se han observado correlaciones más altas entre las velocidades de los golpes de tenis y las clasificaciones nacionales (derecha  $r = 0,68$ ,  $p < 0,05$ ; revés  $r = 0,59$ ,  $p < 0,05$ ; servicio  $r = 0,57$ ,  $p < 0,05$ ) que entre la velocidad de la bola y las clasificaciones regionales [derecha  $r = 0,44$ ,  $p < 0,05$ ; revés  $r = 0,31$  (ns); servicio  $r = 0,43$ ,  $p < 0,05$ ] (Roetert et al., 1992). Al realizar un estudio para la validación de un test (“Leuven Tennis Performance Test”), se observó que los jugadores de mayor

experiencia obtuvieron mejores resultados que los de menor nivel en la velocidad de la bola y la precisión (Vergauwen et al., 2004). Aunque en otros estudios se han observado diferencias en la velocidad de la bola, pero no en la precisión (Landlinger et al., 2012). Resultados semejantes obtuvieron Martin et al. (2014), que encontraron que la velocidad de la bola en el saque era significativamente mayor en los jugadores profesionales ( $177,8 \pm 17,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) que en los jugadores no profesionales ( $143,3 \pm 14,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), y Ulbrich et al. (2016), que encontraron una mayor velocidad de saque en jugadores de 16 años alemanes de nivel nacional ( $172,65 \pm 11,38 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) que en los de nivel regional ( $160,06 \pm 12,23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). En la misma línea, Girard et al. (2007) encontraron la velocidad del saque relacionada significativamente con el nivel de rendimiento (iniciación, intermedio y elite). Las velocidades máximas de la bola medidas con radar fueron, en  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ , de  $169,4 \pm 11,3$  para el grupo de elite,  $148,8 \pm 16,3$  para el grupo avanzado y  $107,2 \pm 6,1$  en el de iniciación, dándose una correlación significativa ( $p < 0,001$ ) entre el grupo de elite y el de iniciación y entre el de elite con el avanzado ( $p < 0,05$ ).

También se ha observado que los jugadores de tenis profesionales son más eficientes que los de menor nivel en los servicios. Esta afirmación se basa en el hecho de que los jugadores no profesionales aumentan la cinética tanto del hombro como del codo en comparación con los jugadores profesionales sin alcanzar una mayor velocidad de la pelota (Martin et al., 2014). Se ha propuesto que cualquier interrupción de la cadena cinética causada por una mecánica incorrecta podría dar como resultado un aumento de la carga de las articulaciones de los miembros superiores en la secuencia de movimientos (Kibler, 1995). Como consecuencia, se puede suponer que los jugadores no profesionales trataron de compensar la interrupción de la cadena cinética causada por la mecánica inadecuada del servicio a través del aumento de la activación y la carga del segmento (Lintner et al., 2008). Como aplicación práctica de los resultados de estos estudios, Martin (2014) opina que si se les preguntara a los entrenadores de tenis "cuáles son sus principales prioridades cuando enseñan a sacar", su respuesta debería ser "mejorar el rendimiento, especialmente la velocidad de la pelota".

Los cambios en el juego moderno se han traducido en el uso de poderosos servicios y golpes de fondo, con aproximadamente el 75% de los golpes compuesto por golpes de derecha y servicios (Ellenbecker et al., 2006). Los porcentajes promedio de puntos obtenidos con el primer y segundo servicio corresponden, respectivamente, al 79 y 59%

para el Abierto de Australia ([www.australianopen.com](http://www.australianopen.com)), al 77 y 59% para Roland Garros ([www.rolandgarros.com](http://www.rolandgarros.com)), al 81 y 61 % para Wimbledon ([www.wimbledon.com](http://www.wimbledon.com)) y al 79 y 61% para US Open ([www.usopen.org](http://www.usopen.org)). Dado que la velocidad del primer servicio es superior a la del segundo, estos resultados sugieren que la velocidad de la bola en el golpe inicial es determinante para la obtención del punto. En línea con esta sugerencia se ha llegado a afirmar que golpear el primer servicio “duro” es la mejor estrategia para ganar un alto porcentaje de puntos (Brody et al., 2002), que la velocidad de un servicio de tenis es un criterio importante del rendimiento del saque (Pugh et al., 2003; Vaverka et al., 2016) o que el porcentaje de primeros servicios es una de las variables más importantes en este golpe (Knudson et al., 2004). Una mayor velocidad en el saque tiene como consecuencia lógica un aumento de las dificultades del oponente para devolver el golpe, ya que se reduce el tiempo disponible para ejecutar sus golpes de resto, lo cual, además, viene acompañado de una mayor probabilidad de ganar el punto después de un segundo tiro (O'Donoghue & Brown, 2008; Bonato et al., 2015).

#### *Diferencias en la velocidad de los golpes de fondo en relación con el nivel deportivo*

La velocidad de la bola en el golpe de derecha es superior al revés en todos los niveles deportivos (Landlinger et al., 2012; Pluim et al., 2006; Mavvidis et al., 2005; Kraemer et al., 1995b; Kraemer et al., 2003). Los resultados también revelaron que los jugadores probablemente se sienten más seguros al golpear de derecha cruzada que de revés (Landlinger et al., 2012). Esta afirmación es interpretada de manera diferente por otros autores, que consideran que al ser la velocidad máxima de la bola en la derecha un 10% superior que la del revés (Genevois et al., 2016), los jugadores tienden a utilizar mucho más este golpe por ser mucho más agresivo que el de revés y permitir crear espacios y definir el punto. Una de las razones dadas por los autores para explicar estas diferencias es la mayor activación muscular en el golpe de derecha que en el de revés (Escamilla & Andrew, 2009), lo que permitiría al jugador aplicar más fuerza. Además, existen evidencias de que la velocidad de la bola en el golpe de derecha cruzado es mayor que en el paralelo (Landlinger, et al., 2010).

#### *Importancia de la velocidad de la bola en el resto*

Shang-Min et al. (2013) encontraron que los restos ganados ante primeros servicios aumentaron las posibilidades de ganar partidos. Tanto el servicio como el resto son indicadores relevantes del resultado del partido (Chiu, 2010; Elliott & Saviano, 2001).

Los buenos restos pueden superar el buen servicio y neutralizar sus ventajas. Elliott & Saviano (2001) indicaron que el éxito de muchos tenistas profesionales depende, al menos en parte, de la velocidad de la bola en la acción de restar. Por tanto, no solo la velocidad de los servicios, sino también la de los restos han sido consideradas como habilidades muy importantes en el tenis (Elliott & Saviano, 2001; O'Donoghue & Brown, 2008; Shang-Min et al., 2013).

#### *Relación entre las variables antropométricas y el nivel deportivo o ranking*

Se ha propuesto que las características morfológicas ejercen una influencia importante en el rendimiento competitivo, y en gran medida definen el estilo de juego e influyen en el aprovechamiento de los principios biomecánicos, la competencia técnica y la eficiencia del movimiento (Panjan et al., 2010).

La mayor parte de los estudios se centran en el análisis de la relación entre la talla y la velocidad de la bola, ya que se ha observado relación entre la talla corporal y la velocidad máxima del servicio (Cross & Pollard, 2009; Vaverka & Cernosek, 2013; Vaverka et al., 2016; Perry et al., 2004). En un estudio con ocho jugadores profesionales (Bonato et al., 2015), el coeficiente de correlación de Pearson mostró relaciones positivas significativas ( $p < 0,05$ ) entre la altura y la velocidad de la pelota tanto en el primer servicio ( $r = 0,78$ ;  $p < 0,05$ ) como en el segundo ( $r = 0,80$ ;  $p < 0,05$ ). Como conclusión, estos autores consideraron que la altura era el determinante antropométrico principal de la velocidad de saque en jugadores de tenis profesionales.

La relación entre la velocidad del servicio y la talla del jugador está ampliamente estudiada y la mayoría de las investigaciones están a favor de una correlación positiva entre ambas variables (Cross & Pollard, 2009). Según la Federación Internacional de Tenis, los jugadores que golpean a una mayor altura son los que golpean también a una mayor velocidad, al igual que la capacidad de los jugadores de golpear la pelota en el aire durante el saque permite alcanzar mayor altura de impacto. Datos recopilados de los mejores jugadores del mundo que participaron en todos los Grand Slam en 2008 mostraron correlaciones estadísticamente significativas entre la altura y la velocidad del servicio ( $p < 0,01$ ). Los coeficientes de correlación fueron similares en hombres y mujeres. Los coeficientes de correlación de la talla con el saque más rápido del partido y la velocidad media del saque en el partido oscilaron entre 0,48-0,64 para los hombres y entre 0,48-0,59 para las mujeres (Vaverka & Cernosek, 2013). En otro estudio (Vaverka

et al., 2016), donde se utilizó un método de regresión lineal con una muestra de los mejores jugadores mundiales (221 hombres y 215 mujeres) participantes en los torneos de Grand Slam en 2008 y 2012, se encontró que las correlaciones entre la talla y la velocidad del saque fueron estadísticamente significativas ( $r = 0,31-0,57$ ,  $p < 0,01$ ). Por lo que concluyeron que la altura del impacto se ve significativamente condicionada por la talla. No obstante, Vaverka & Cernosek (2013) consideran que la velocidad del servicio no se puede asociar solo con la talla. Estos autores proponen que la talla explica un promedio del 27-30% de la varianza en el saque más veloz y en el promedio de velocidades del primer servicio, y el 12-14% de la velocidad promedio del segundo servicio.

La altura a la que se golpea la bola está determinada por la distancia que se levanta todo el cuerpo desde el suelo, la altura vertical del hombro que golpea, la componente vertical de la longitud del miembro superior, el componente vertical de la raqueta de tenis y el lugar del impacto en la raqueta. Por tanto, la variable más significativa en el servicio sería la altura del jugador, seguida de la capacidad de la elevación vertical del cuerpo según lo determinado por la técnica de servicio, que puede influir en la altura de golpeo entre 20 y 40 cm (Vaverka & Cernosek, 2007). Además, los jugadores más altos tienen la posibilidad de alcanzar una mayor velocidad de servicio debido a que con extremidades más largas se alcanzará una mayor velocidad periférica de raqueta en el momento de golpear la pelota para una misma velocidad angular (Brody, 1987; Vaverka, et al., 2005; Martin, et al., 2014). Sin embargo, un dato relevante con respecto a la talla y el resultado de los partidos es el aportado por Shang-Min et al. (2013), quienes hallaron que el impacto positivo de la talla de un jugador en los partidos ganadores desaparece cuando mide más de 186 cm.

En síntesis, según los resultados de los estudios mencionados, la talla de los jugadores de tenis puede ser uno de los principales determinantes del rendimiento, pero con limitaciones, ya que la relación positiva entre talla y resultados parece tender a disminuir o desaparecer a partir de determinados valores de talla.

Otras características morfológicas como peso corporal, porcentaje de grasa corporal y masa corporal magra se consideran importantes para el rendimiento en tenis (Panjan et al., 2010). Sin embargo, en otro estudio (Bonato et al., 2015) no se encontró relación entre

la masa corporal y la velocidad ni con el primero ( $r = -0,22$ ;  $p = 0,59$ ) ni con el segundo servicio ( $r = -0,15$ ;  $p = 0,71$ ).

Fett et al. (2018) tuvieron como objetivo investigar el impacto de los componentes de rendimiento físico y las características antropométricas en la velocidad del servicio en jugadores de élite junior de tenis en función del sexo y de grupos de edad (12, 14, 16 y 18 años) en una muestra de los mejores 1019 tenistas de la Federación Alemana de Tenis (625 hombres y 394 mujeres). Se incluyeron medidas antropométricas (talla y masa corporal, altura sentada y envergadura) y pruebas físicas [velocidad del servicio, lanzamiento de balón medicinal, fuerza de agarre, flexión de brazos en el suelo (push-ups), extensión de la espalda (lumbares), saltos con contra movimiento (CMJ), saltos horizontales, sprint de 20 m y resistencia específica del tenis]. De todas las características antropométricas y físicas analizadas, los lanzamientos de balón ( $r = 0,49-0,60♂$ ;  $r = 0,20-0,60♀$ ), la fuerza del agarre ( $r = 0,43-0,59♂$ ;  $r = 0,27-0,37♀$ ), el alcance del brazo ( $r = 0,37-0,56♂$ ;  $r = 0,24-0,36♀$ ), la altura corporal ( $r = 0,31-0,52♂$ ;  $r = 0,26-0,38♀$ ), y la masa corporal ( $r = 0,44-0,57♂$ ;  $r = 0,35-0,39♀$ ) mostraron correlaciones significativas con la velocidad del servicio. Los resultados del análisis de regresión múltiple indicaron que dentro de la combinación de los predictores seleccionados, el lanzamiento de balón, la fuerza de agarre, la envergadura y la masa corporal explicaban el 41-66% de la varianza en la velocidad del servicio de los varones y el 19-45% para chicas. Los resultados refuerzan que la velocidad del servicio depende de las capacidades físicas y las características antropométricas, pero también de factores adicionales como los componentes técnicos. En particular, se resalta que la potencia / fuerza de la parte superior del cuerpo es importante para el servicio de los jugadores jóvenes, especialmente en atletas con una mayor talla y envergadura (es decir, ventajas biomecánicas), mientras que la potencia del tren inferior (CMJ) fue menos importante.

#### *La precisión y el rendimiento en los golpes de tenis*

La precisión en el golpeo en tenis se determina por la habilidad de colocar la pelota en un sitio determinado del campo contrario. Sin embargo, la precisión no es suficiente para aumentar la probabilidad de conseguir un punto, sino que debe venir acompañada de un valor alto de velocidad, aunque teniendo en cuenta que debe darse un equilibrio entre ambos objetivos, ya que una mayor velocidad supone un mayor riesgo de imprecisión. Por tanto, se ha propuesto que los dos factores que marcan el éxito en el tenis son la

habilidad de colocar la bola con precisión y la generación de velocidad de la pelota en el servicio y los golpes de fondo (Signorile et al., 2005).

En el periodo de 2001 a 2009 se observó una disminución del número de dobles faltas y un aumento del número de “aces” y de la velocidad de la bola (Cross & Pollard, 2009), lo cual indica que también, necesariamente, mejoraría la precisión o al menos se mantendría. Sin embargo, la precisión parece ser una habilidad relativamente estable, acompañada de una mejora progresiva de la velocidad, como fue observado en el estudio de Landlinger et al. (2012), en el que los jugadores de elite no colocaron la pelota con más precisión que los jugadores de alto rendimiento, aunque sí con más velocidad. Esta misma tendencia se observó en los resultados encontrados por Cauraugh et al. (1990), que observaron que no había diferencias significativas en la precisión de 15 jugadores altamente cualificados, aunque sí en la velocidad del servicio. Es probable que la precisión del golpeo también esté relacionada con el tipo de golpe, ya que se ha observado que la precisión en el golpe cruzado de derecha es mayor que en el mismo golpe ejecutado en paralelo (Landlinger et al., 2012).

La bibliografía existente sobre los golpes de fondo trata sobre todo de las diferencias en la precisión y la colocación (cruzada y paralela) por ambos lados. En un estudio donde no se consideró la velocidad de la pelota, no se encontraron diferencias en la precisión entre los golpes de derecha y de revés cruzados y paralelos para jugadores de élite durante partidos de tenis simulados (Davey et al., 2002). Los resultados de dos estudios indicaron que la precisión de los tiros era similar independientemente de los golpes, así como del sexo (Lyons et al., 2013; Theodoros et al., 2008), pero significativamente influenciado por el nivel de habilidad (Lyons et al., 2013). Sin embargo, estos hallazgos, que apuntan a una precisión análoga entre los golpes de fondo, contrastan con el trabajo de Mavvidis et al. (2010), quienes revelaron que los jugadores jóvenes, hombres y mujeres, competitivos ( $13,6 \pm 1,4$  años) lograron una precisión significativamente mayor con la derecha que con el revés, así como con Perry et al. (2004), que encontraron que los tenistas adolescentes, masculinos y femeninos, golpeaban de revés con mayor precisión y mayor velocidad de la pelota al dirigir la bola cruzada en comparación con la paralela ( $p < 0.001$  para ambos géneros), pero esta diferencia no se observó en sus golpes de derecha. Cuando se generan velocidades de bola casi máximas, Landlinger et al. (2012) han detectado una mayor precisión para las derechas en comparación con los reveses, y en los jugadores más poderosos fueron aún más precisos en la situación de revés paralelo



que los de nivel inferior. Según Genevois et al. (2015), estos resultados podrían deberse a una práctica, tanto en competición como en entrenamiento, más abundante de los golpes de derecha que los de revés y de los tiros cruzados más que los paralelos.

También se ha estudiado si la precisión de los golpes se puede ver afectada por la fatiga. Davey et al. (2002; 2003) encontraron que la precisión se reducía hasta en un 81% cuando un jugador de tenis se encontraba fatigado. Vergauwen et al. (1998) observaron que después de una sesión de entrenamiento extenuante de dos horas, aumentaron los errores en los golpes de fondo durante los rallies defensivos y los errores en los servicios. Por el contrario, en los estudios de Hornery et al. (2007) y de Maquirriain et al. (2016) se encontraron resultados opuestos. En el primero de ellos se observó que ante un alto estrés fisiológico, la precisión del golpe se mantiene en gran medida, y en el segundo que, tras el análisis de las estadísticas del servicio en 15 partidos de Wimbledon 2015 a cinco sets con una duración media del partido de  $208,3 \pm 28,3$  min, la diferencia entre los valores de precisión del primer set y del quinto no fue significativa: un  $63,1 \pm 11,1\%$  de primeros servicios válidos en el primer set, frente a un  $62,3 \pm 11,8\%$  en el quinto ( $p = 0,78$ ); porcentaje de "aces",  $11,2 \pm 9,1\%$  vs.  $10,0 \pm 8,9\%$ , respectivamente ( $p = 0,39$ ); porcentaje de "winners",  $2,6 \pm 7,6\%$  vs.  $1,2 \pm 2,2\%$ , respectivamente ( $p = 0,36$ ); porcentaje de "dobles faltas",  $2,8 \pm 3,0\%$  vs  $2,8 \pm 3,4\%$  ( $p = 0,97$ ), por lo que concluyeron que los jugadores de tenis pudieron mantener la precisión del servicio constante en partidos de cinco sets jugados en canchas de césped.

### ***Relación entre la capacidad de salto y de esprint con el nivel deportivo o ranking***

Los diferentes estudios y hallazgos relacionados con la valoración y el control del rendimiento físico parecen estar de acuerdo en que en el tenis son determinantes las capacidades de tipo anaeróbico como la velocidad y la agilidad en esfuerzos cortos (Kibler et al., 1988, Chandler, 1995; Kovacs, 2007; Fernández-Fernández et al., 2009). Se han realizado estudios correlacionales para determinar qué componentes físicos tienen relación con los resultados de los partidos y la clasificación, no obstante, existe un desacuerdo general entre la comunidad científica con respecto a las características más importantes de rendimiento físico y pruebas útiles en este deporte (Fernández-Fernández et al., 2014).

En una muestra de 256 hombres de entre 10 y 15 años, las diferencias de rendimiento en esprint en 5 m entre jugadores de elite y sub-elite estuvieron relacionadas con cambios



longitudinales en el tamaño corporal y la fuerza de las extremidades inferiores hasta los 13 años. Es decir, el rendimiento en esprint mejoró con la edad, y cada año adicional de edad generó una mejora de 0,16 segundos en el tiempo de esprint en cinco metros (Kramer et al., 2016). En otros estudios, tanto en jugadores adolescentes como de mayor edad y nivel deportivo, se han encontrado relaciones significativas entre el rendimiento en esprint y en CMJ y el ranking (Girard & Millet, 2009; Ulbrich et al., 2016). Girard & Millet (2009) encontraron relaciones significativas entre el ranking y pruebas físicas en 12 jugadores de  $13,6 \pm 1,4$  años y 4 años de experiencia. Los sujetos se clasificaron del 1 al 12 según el ranking. Se observó relación significativa entre el ranking y la velocidad en 5 m ( $r = -0,69$ ), 10 m ( $-0,63$ ) y 20 m ( $-0,74$ ), y los resultados en CMJ ( $r = -0,71$ ), SJ ( $r = -0,80$ ) y DJ ( $r = -0,66$ ). Las características antropométricas y las puntuaciones de rendimiento físico presentaron correlación con la clasificación de los jugadores en el ranking al aplicar la correlación por rangos de Spearman. Ulbrich et al. (2016) utilizaron el test CMJ y el sprint en 10 y 20 metros para comprobar la posible relación entre la condición física y el nivel deportivo de 902 jugadores hombres y mujeres de entre 11 y 16 años, de los cuales un grupo tenía ranking nacional y otro regional en Alemania. Además, para comprobar la evolución del rendimiento, los sujetos se dividieron en tres grupos de una edad media de 12, 14 y 16 años. Se observó una correlación positiva significativa entre el ranking y los tiempos en 10 m en la edad de 14 años y en 20 m en los grupos de edad de 14 y 16 años. Y solamente se observaron diferencias significativas entre los sujetos de nivel nacional y regional en 10 y 20 m en el grupo de 12 años y en CMJ en el grupo de 14 años (Ulbrich et al., 2016).

Sin embargo, en una serie de estudios se observó una tendencia a la falta de capacidad de las pruebas físicas para predecir el rendimiento o nivel deportivo. Pratt (1989) y Birrer et al. (1986) no encontraron pruebas físicas con capacidad de predicción del rendimiento, Roetert et al. (1992) indicaron que la agilidad era la única variable de rendimiento físico útil para predecir clasificaciones competitivas en 83 jugadores de tenis prepubescentes, y que los rendimientos de capacidad atlética eran malos predictores de las clasificaciones, mientras que Kraemer et al. (1995a), en un estudio con mujeres tenistas, concluyeron que ninguna variable de manera aislada como la velocidad en carrera o las velocidades de bola (saque, derecha y revés) explicaba de manera suficiente el rendimiento en tenis. En línea con estos resultados se ha concluido que el rendimiento en el tenis es multifactorial, dependiendo de factores físicos, mentales, tácticos y técnicos (Birrer et al., 1986).

### ***La fuerza en el tenis***

#### *Tiempo disponible para aplicar fuerza en los golpes y velocidad del juego*

Durante la acción de golpeo, el jugador dispone de muy poco tiempo para aplicar fuerza, y este corto espacio de tiempo viene determinado por la elevada velocidad del gesto técnico (Baiget, 2011). El tiempo de contacto entre la raqueta y la pelota oscila entre 0,003 y 0,006 s (Renström, 2002). Se han medido picos de velocidad de la raqueta en el servicio de 100 a 116  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ , que corresponden a velocidades de la pelota de 134 a 201  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  (Chandler, 1995), y velocidades de  $122 \pm 9,1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  en el golpe de derecha y  $111,1 \pm 7,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  en el golpe de revés (Fernández-Fernández et al., 2010).

Para el primer saque, dentro de un rango de aproximadamente 200-220  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ , el tiempo disponible para restar desde el golpeo del saque es de  $\sim 0,7 \text{ s}$  en las pistas de tierra batida más lentas,  $\sim 0,6 \text{ s}$  en pistas duras más rápidas y  $\sim 0,5 \text{ s}$  en las pistas de césped más rápidas. Por tanto, el tiempo de reacción y la capacidad de anticipación para devolver el primer servicio se consideran factores muy importantes en el rendimiento (Ivancevic et al., 2011).

#### *La fuerza en el rendimiento en el tenis*

En un gran número de estudios se ha examinado la relación entre la velocidad de la pelota del saque de tenis y la fuerza de la parte superior del cuerpo. Se ha propuesto que la articulación primaria y el patrón de movimiento más relevante en el jugador de tenis en la realización del saque es la rotación del hombro (Cohen et al., 1994). Estos autores encontraron correlaciones moderadas pero significativas ( $r = 0,47$  y  $r = 0,34$ ;  $p < 0,05$ ) entre la velocidad de la pelota en el saque y el momento de fuerza de extensión isocinético medido en el codo a los  $60$  y  $180^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ , respectivamente. Elliott et al. (2003b) observaron que los jugadores profesionales masculinos comúnmente registran momentos de fuerza más altos en las articulaciones de hombro y codo que las jugadoras profesionales. La rotación interna del hombro contribuyó significativamente a la explicación de la varianza de la velocidad de la bola tanto en el saque como en los golpes de fondo (Perry et al., 2004). De manera global e integrando a todo el cuerpo, los estudios han indicado que la mayor contribución a la velocidad de avance de la cabeza de la raqueta en el impacto fue producida por las acciones combinadas de la rotación interna de la parte superior del brazo

y la flexión de la muñeca (Elliott et al., 1995; Pugh et al., 2003; Van Gheluwe & Hebbelinck, 1985).

Pero la fuerza generada por los miembros superiores al golpear la bola no es independiente de la fuerza del resto del cuerpo, sino que el desarrollo del momento lineal y angular comienza con las fuerzas de reacción del suelo generadas por los jugadores a través de sus acciones de piernas (Bahamonde, 1997). Se ha propuesto que la transferencia de la fuerza desde las piernas a través del tronco hasta los brazos en la secuencia y el momento adecuados juega un papel determinante en el éxito y la eficiencia del saque (Roetert et al., 1996; Groppe, 1992). En este sentido, se ha subrayado la importancia de la extensión de la rodilla para el desarrollo de altas velocidades del saque (Morris et al., 1989), lo cual ha sido confirmado posteriormente por Euon et al. (2003), quienes observaron que los jugadores que usaban más de 14° de flexión de rodilla durante el movimiento de servicio tenían pares de torsión del hombro y el codo significativamente menores para velocidades de saque similares. Por lo tanto, la fuerza de las piernas parece ser importante para los jugadores de tenis, ya que ayuda a proporcionar altas velocidades en los golpes (especialmente el saque) con un perfil de carga relativamente pequeño en el hombro y el codo (Euon, 2003; Euon, et al., 2003). De hecho, se ha considerado que para alcanzar velocidades de más de 200 km·h<sup>-1</sup> en el saque, es determinante la acción coordinada de los grupos musculares de las extremidades inferiores y superiores (Maquirriain et al., 2016). Por tanto, parece que existe bastante consenso en que la secuencia adecuada de acciones que llevan a la velocidad máxima de servicio está determinada por la capacidad de los músculos de las extremidades superiores e inferiores para generar acciones poderosas (Girard et al., 2005).

Pero la transmisión de la fuerza desde las piernas hasta los miembros superiores necesariamente debe pasar por el tronco. Es bien sabido que para aumentar el rendimiento en el saque, cuantificado por el aumento de la velocidad sin afectar a la precisión, se debe aumentar la fuerza muscular de toda la cadena cinética (Roetert et al., 2009). En este sentido, Kibler (1995) hace hincapié en que la preparación física debe abarcar todas las secciones del cuerpo en la cadena cinética, ya que las fuerzas producidas desde la base, a través de la parte inferior del cuerpo, deben transferirse de manera efectiva y eficiente a la parte superior del cuerpo, y Ellenbecker & Roetert (2000) afirmaron que la activación de los grupos musculares del tronco no solo sirve para asegurar su estabilidad, sino que también es útil para vincular los segmentos de las extremidades superiores e inferiores,

por lo que la fuerza adecuada del tronco (en sus acciones de flexión, extensión y rotación) parece ser relevante para producir golpes de tenis exitosos (Roetert et al., 1996). En la misma línea, Bahamonde (2000) comprobó que la diferencia entre los jugadores con las velocidades más altas en el servicio ( $51, 46,3$  y  $50,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y los jugadores con las velocidades más bajas ( $39,8$  y  $43,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) se debe a la contribución del tronco al momento angular total del eje anteroposterior, también llamada rotación "hombro sobre hombro". La velocidad de rotación de los distintos segmentos ha sido cuantificada por Fleisig et al. (2003), quienes propusieron que los tenistas producen una secuencia rápida de rotaciones de segmentos, cuyo orden y velocidades angulares máximas son como sigue: inclinación del tronco ( $280^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ ), rotación longitudinal del torso superior ( $870^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ ), rotación de la pelvis ( $440^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ ), extensión del codo ( $1510^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ ), flexión de la muñeca ( $1950^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ ) y rotación interna del hombro ( $2420^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ ). Por tanto, parece admitirse que la transferencia de energía eficiente desde el suelo hacia arriba a lo largo de toda la cadena cinética dará como resultado mayores velocidades de la cabeza de la raqueta y velocidad de la bola (Kovacs et al., 2008).

Tomados en conjunto, estos resultados refuerzan el papel de las extremidades inferiores y el tronco para producir un servicio efectivo de alta velocidad a través de una correcta transmisión de impulsos (cadena cinética). En este proceso no solo es determinante la capacidad contráctil muscular, sino también el uso de energía elástica y precarga muscular (Girard et al., 2007), tanto en el brazo y hombro dominante (Brody, 1987; Elliott, 2002) como en los músculos de las piernas (Girard et al., 2005). Por lo tanto, estos resultados parecen indicar que, en este entorno, adquiere especial importancia la fuerza útil, o aquella que se produce a la velocidad específica y en el tiempo específico de competición (González-Badillo, 2000).

No obstante, la relación entre los valores de fuerza y la velocidad de la bola parece depender en parte del tipo de medición con el que se valora la fuerza. Para comprobar la posible relación entre la fuerza medida a través de tests isocinéticos (momentos de fuerza pico, potencia media y trabajo total realizado) y la velocidad de la bola, Signorile et al. (2005) realizaron un estudio con 35 jugadores de entre 13 y 18 años, con cuatro años de experiencia. Los tests isocinéticos consistieron en rotación interna y externa del hombro y un movimiento diagonal de la mano de arriba hacia abajo cruzando el tronco. Encontraron correlaciones significativas solamente entre la velocidad de la bola en el saque, la derecha y el revés y el momento de fuerza pico, y especialmente entre el

movimiento diagonal y el saque a  $3,14 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $r = 0,83$ ;  $p < 0,001$ ) y a  $4,71 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $r = 0,74$ ;  $p < 0,001$ ). Para los autores del estudio, estos resultados eran esperados debido a las similitudes entre el patrón del movimiento del ejercicio isocinético y el movimiento del saque del tenis. Por todo ello, concluyen que las pruebas isocinéticas a velocidades entre  $1,57$  y  $4,71 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  pueden predecir la velocidad de la bola. Por el contrario, en otros estudios no se encontraron relaciones entre diferentes valores de fuerza medidos isocinéticamente y la velocidad de la bola. La fuerza de las piernas, del hombro y del agarre en 15 jugadores universitarios medidas con dinamómetro isocinético, no mostraron correlaciones significativas ( $p > 0,05$ ) con la velocidad de la pelota en el servicio (Pugh et al., 2003), ni tampoco con las medidas de fuerza de rotación interna y externa del hombro, flexión-extensión de la muñeca y la pronación del antebrazo a velocidades de  $90$ ,  $210$  y  $300^\circ \cdot \text{s}^{-1}$  (Ellenbecker, 1991). Sus conclusiones fueron que la fuerza no es el único factor involucrado en la producción de velocidad de la pelota durante el saque de tenis. (Ellenbecker, 1991). Como consecuencia, se sugiere que los estudios deberían enfocarse en factores tales como los diferentes modos y velocidades de ejecución de las pruebas de fuerza, ejercicios de habilidad y tener en cuenta la influencia del entrenamiento. Puede ser que un determinado nivel absoluto de fuerza sea necesario, pero no suficiente para aumentar la velocidad final de la pelota, ya que el valor de velocidad de la pelota puede ser el resultado de una combinación de varios factores como la técnica, la coordinación, la flexibilidad y la fuerza (Pugh et al., 2003). Sin embargo, la falta de una correlación entre una determinada evaluación de la fuerza y el rendimiento de un deporte en particular pueda deberse a una falta de relevancia de la fuerza para ese desempeño, también es muy probable que se deba a la insensibilidad del método de evaluación de la fuerza, a las características específicas de la fuerza en el deporte y al hecho de haber alcanzado un nivel de umbral de fuerza por encima del cual un aumento de la fuerza no influye en un mayor rendimiento (Wrigley, 2000)

Se ha observado que la velocidad de movimiento del brazo al golpear con la derecha, medida a través de un dispositivo de prueba portátil (codificador lineal para recogida de datos con Muscle Lab-Systems, Ergotest Technology, Noruega, tipo ETEnc-01, resolución  $<0,075 \text{ mm}$ , a  $1000 \text{ Hz}$ ) presentó correlación con la medición de la velocidad máxima de la bola en la derecha, medida a través del radar en pista, con resultados altamente significativos ( $r = 0,727$ ;  $p < 0,01$ ) (Landing & Benko, 2005). Otro de los factores es el observado por Kraemer et al. (1995a), quienes informaron que, además de

la fuerza, la laxitud articular contribuía significativamente a aumentar la velocidad de la bola en diferentes golpes de tenis.

*Papel de la fuerza en la capacidad de desplazamiento en tenis*

Para producir un desplazamiento de cualquier cuerpo es necesario aplicarle una determinada fuerza (2ª Ley de Newton), y para ello es necesario que la fuerza se aplique en un punto determinado. En nuestro caso, es precisamente la fuerza que aplica el tenista contra el suelo y su relación con el tiempo (RFD) la que va a determinar su capacidad de desplazarse para un golpeo eficaz. Estas necesidades se pueden deducir de la propia observación de las acciones típicas del tenista durante el juego, pero también se ha propuesto como resultado de algún estudio, en el que se concluye que el tenis de elite requiere que los jugadores generen repetidamente altos valores de RFD para la realización de golpes explosivos y movimientos rápidos sobre la pista durante los partidos de larga duración (Lees, 2003).

En un partido de tenis, aproximadamente el 80% de los golpes se ejecuta con 2,5 m de desplazamiento desde la posición de preparados, y aproximadamente el 10% entre 2,5 y 4,5 m, con un patrón de movimiento principalmente deslizante, mientras que menos del 5% de los golpes se realizan con más de 4,5 m de desplazamiento junto a un patrón de golpeo en movimiento (Bergeron et al., 1991; Christmass et al., 1998; Davey, et al., 2003; Kovacs, 2007). Estas características de los desplazamientos podrían explicar por qué en algunos estudios se ha observado relación entre el rendimiento del tenis y las pruebas físicas de 5, 10 y 20 m y el salto (Girard & Millet, 2009).

Los aumentos en la masa muscular se asociaron con los tiempos de sprint más cortos (Malina et al., 2004) y altas velocidades en los golpes, particularmente en el saque (Ellenbecker & Roetert, 2004). La prueba de esprint de 20 m, con tomas de tiempos a los 5 y 10 m, se ha usado como una medida general de aceleración lineal y velocidad (Cronin & Handsen 2005). También se utilizó el test de CMJ y el sprint en 10 y 20 metros para conocer la relación entre la condición física y el nivel deportivo de 902 jugadores hombres y mujeres de entre 11 y 16 años, de los cuales un grupo tenía ranking nacional y otro regional en Alemania. Además, para comprobar la evolución del rendimiento, los sujetos se dividieron en tres grupos de una edad media de 12, 14 y 16 años. Se observó una correlación positiva significativa entre el ranking y los tiempos en 10 m en la edad de 14 años y en 20 m en los grupos de edad de 14 y 16 años. Y solamente se observaron

diferencias significativas entre los sujetos de nivel nacional y regional en 10 y 20 m en el grupo de 12 años y en CMJ en el grupo de 14 años (Ulbrich et al., 2016).

### *El efecto del entrenamiento de la fuerza en el tenis*

El entrenamiento de fuerza en adolescentes ha estado históricamente envuelto en una gran controversia. Una de las razones que alegaban sus opositores era el alto riesgo de lesión que podía provocar este tipo de ejercicios. Sin embargo, este riesgo de lesión no es mayor que en otros deportes o actividades recreativas, como lo demuestra un estudio prospectivo, que evaluaba la incidencia de lesiones relacionadas con el deporte en estudiantes de edad escolar durante un año y en el que se podía observar que el entrenamiento de fuerza únicamente significaba un 0,7% del total de lesiones (Zaricznyj, Shattuck, Mast, Robertson, y D'Elia, 1980 en Sarabia et al., 2010). Por otra parte, numerosos estudios (Blimkie, 1992; Kanehisa, et al., 1995; Faigenbaum, 2003; Faigenbaum & Westcott, 2009) muestran claramente que se pueden conseguir ganancias de fuerza en adolescentes siempre que se utilicen métodos de entrenamientos planificados, controlados y bien dirigidos. Las ganancias de fuerza en términos relativos son similares en niños pre, peri y postpuberales e incluso superiores para los niños prepuberales (Malina & Bouchard, 1991; Lillegard, et al., 1997).

Dados estos antecedentes, en los últimos años el entrenamiento de fuerza se ha considerado como una importante herramienta para la mejora del rendimiento en el tenis (Kraemer et al., 1995a). Se ha observado que el entrenamiento de fuerza aumenta las ganancias funcionales y el rendimiento atlético en el tenis, además de un aumento significativo en la velocidad de la pelota (Pugh et al., 2003). Ellenbenker et al. (1998) encontraron que en jugadores de tenis colegiales entrenados isocineticamente por un período de seis semanas, solo el grupo entrenado mostró un aumento significativo en la velocidad de servicio. El grupo entrenado excéntricamente no mostró aumentos significativos en la velocidad de la pelota, y más de la mitad del grupo mostró una disminución en la velocidad. Estos hallazgos sugieren que el aumento de la fuerza muscular podría ser positivo para aumentar la velocidad de la pelota durante el servicio de tenis.

En un estudio de Sarabia et al. (2010), un grupo de 10 jugadores cadetes con más de cinco años de experiencia realizaron un entrenamiento de fuerza con una carga estable del 60% de la RM durante seis semanas con los ejercicios de press de banca en peso libre y media



sentadilla (90° de flexión de rodilla) en máquina Smith, mientras que 8 de ellos no realizaron ningún tipo de entrenamiento de fuerza. Se observó que el grupo experimental mejoró de manera significativa ( $p < 0,05$ ) en la aceleración máxima y fuerza máxima en press de banca y en potencia máxima, potencia media en la fase propulsiva y velocidad máxima en media sentadilla. También obtuvieron mejoras en todos los saltos, pero solo de manera significativa en el test de saltos repetidos de 15 segundos. No hubo mejoras en el desplazamiento de 5 a 20 metros. Las mejoras en el rendimiento físico de los miembros inferiores y un incremento del 7,18% (aunque no significativo estadísticamente) en la potencia media en la fase propulsiva en los miembros superiores, indican una mayor eficiencia contráctil de la musculatura implicada, que, según los autores, permitirían al jugador adaptarse mejor a las actuales demandas del tenis aplicando más fuerza en el golpeo en menor tiempo, lo que se traduce en una mayor velocidad de la bola (Sarabia et al., 2010).

En un estudio de Kraemer et al. (2003), treinta mujeres tenistas universitarias de una edad de 19 años de media realizaron nueve meses de entrenamiento de fuerza “periodizado” (grupo P) y “no periodizado” (grupo NP). El grupo P mejoró significativamente diferentes variables físicas y de velocidad de golpeo. Durante los primeros 6 meses, el entrenamiento de fuerza periodizado provocó aumentos significativamente mayores de 1RM que en el grupo NP en el press de piernas ( $9 \pm 2$  vs.  $4,5 \pm 2\%$ ), press de banca ( $22 \pm 5$  vs.  $11 \pm 8\%$ ) y press de hombros ( $24 \pm 7$  vs.  $18 \pm 6\%$ ). Los valores absolutos de 1RM de press de piernas y hombro del grupo P fueron mayores que el grupo NP después de 9 meses. El entrenamiento de fuerza periodizado también dio como resultado mejoras significativamente mayores en la altura del salto ( $50 \pm 9$  vs  $37 \pm 7 \%$ ) y las velocidades del servicio ( $29 \pm 5$  vs  $16 \pm 4 \%$ ), golpe de derecha ( $22 \pm 3$  vs  $17 \pm 3 \%$ ) y de revés ( $36 \pm 4$  vs  $14 \pm 4 \%$ ) en comparación con el entrenamiento no periodizado después de 9 meses.

Un entrenamiento de fuerza basado en golpear con raquetas más pesadas que las usuales no parece proporcionar una mayor velocidad en el golpeo (Whiteside et al., 2014). Estos autores, al examinar los efectos del swing con raquetas pesadas sobre la mecánica del brazo en el servicio, la cinemática de la raqueta y la velocidad de la bola, observaron disminuciones de las velocidades de la rotación interna y la flexión de la muñeca, las aceleraciones máximas de la rotación interna del hombro y la extensión del codo.



Concluyeron que aumentar el peso de la raqueta en un 5-10% modifica significativamente la mecánica del saque sin un efecto positivo sobre la velocidad de la pelota.

La aplicación de un entrenamiento de fuerza con la combinación de ejercicios de core, tubo elástico y balón medicinal produjo una mejora significativa de la velocidad del servicio del propio grupo que entrenó y mayor mejora que el grupo de control, el cual tampoco mejoró la velocidad con respecto a si mismo (Fernández-Fernández et al., 2013). La precisión del servicio no se modificó en ninguno de los dos grupos después de las seis semanas de entrenamiento, pero sí aumentó en ambos grupos la movilidad en la rotación interna y externa del hombro.

Sobre los denominados ejercicios pliométricos también se encuentran en la literatura distintas referencias que les dan gran importancia para la mejora de la capacidad de desplazamiento, de acelerar y desacelerar y el uso de las piernas para golpear. Se considera que los ejercicios pliométricos son importantes para el desarrollo de habilidades de desaceleración y ayuda en la corrección de movimientos mecánicamente desfavorables de salto y cambio de dirección (Kovacs et al., 2008). Se cree que una gran parte de los aumentos del rendimiento muscular después de los movimientos pliométricos se atribuyen a cambios neurales en lugar de morfológicos (Wilk et al., 1993). Parece que un método eficiente es agregar ejercicios pliométricos, de velocidad y / o intermitentes a los programas tradicionales de entrenamiento de tenis (Lees 2003; König et al 2001).

Después de ocho semanas de entrenamiento con ejercicios pliométricos para los miembros superiores e inferiores, con dos sesiones por semana, de 24 tenistas de entre 12 y 13 años, se produjeron mejoras significativas en el CMJ, sprint en 10 y 20 m y velocidad y precisión del saque, con porcentajes de cambio del 3,1 al 10,1% y tamaños del efecto desde 0,4 (pequeño) a 1,3 (moderado). El grupo que no realizó este entrenamiento no tuvo mejoras significativas. Los autores llegaron a la conclusión de que el tipo de entrenamiento realizado, combinado con entrenamiento regular de tenis, mostró ser un estímulo adecuado para mejorar las acciones explosivas en jugadores jóvenes de tenis (Fernández-Fernández et al., 2016).

Según se deduce de lo expuesto en esta introducción sobre los factores determinantes de la velocidad de la bola y la importancia de la fuerza en el rendimiento en el tenis, se confirma la existencia de la problemática general que motivó el desarrollo de este trabajo, por lo que en cada uno de los tres estudios de que consta esta tesis plantearemos los

problemas específicos correspondientes, que versarán sobre las variables antropométricas, de rendimiento físico y de nivel deportivo que explican en mayor medida la velocidad de la bola y la precisión en los distintos golpes, así como comprobar el efecto de distintas cargas de entrenamiento sobre el rendimiento físico y la velocidad de la bola en los golpes de saque, derecha y revés.

## Bibliografía

- Aparicio, J. A. (1998). Preparación física en el tenis. Madrid: Gymnos.
- Bahamonde, R. E. (1997). Joint power production during flat and slice tennis serves. In: 15th International Symposium on Biomechanics in Sports. Denton, tx., pp. 489–494.
- Bahamonde, R. E. (2000). Changes in angular momentum during the tennis serve. *J Sports Sci.*, 18, 579–592.
- Bahamonde, R. E., & Knudson, D. (2000) Ground reaction forces of two types of stances and tennis serves. *Medicine and Science and Medicine in Sports and Exercise*, 35(5), 102.
- Baiget, E. (2011). Entrenamiento de la fuerza orientado a la mejora de la velocidad de golpeo en tenis. *Journal of Sport and Health Research*, 3(3), 229-244
- Baiget, E., Iglesias, X., & Rodríguez, F., A. (2008). Prueba de campo específica de valoración de la resistencia en tenis: respuesta cardíaca y efectividad técnica en jugadores de competición. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 3(93), 19-28.
- Bartlett, R., Piller, J., & Miller, S. (1995). A three-dimensional analysis of the tennis serves of National (British) and county standard players. In Reilly & M. H. T. E. LEES (Eds.), *Science and Racket Sports I*. London: E & FN SPON, (pp. 98–102).
- Bergeron, M. F., Maresh, C. M., Kraemer, W. J., Abraham, A., Conroy, B., & Gabaree, C. (1991). Tennis: A physiological profile during match play. *International Journal of Sports Medicine*, 12(5), 474-479.
- Bergeron, M., & Keul, J. (2002). The physiological demands of tennis. In: P. A. Renstrom, (Ed.), *Tennis: handbook of sports medicine and science*. Oxford: Blackwell Publishing Co, (pp. 46–54).
- Bermejo, J. (2013). Análisis estructural del golpeo en tenis. Una aproximación desde la biomecánica. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 31, 111-133.
- Birrer, R. B., Levine, R., Gallippi, L., & Tischler, H. (1986). The correlation of performance variables in preadolescent tennis players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 26(2), 137-9.
- Blimkie, C. (1992). Resistance training during pre- and early puberty: Efficacy, trainability, mechanisms and persistence. *Canadian Journal of Sport Science*, 17, 264-279.
- Bonato, M., Maggioni, M. A., Rossi, C., Rampichini, S., La Torre, A., & Merati, G. (2015). Relationship between anthropometric or functional characteristics and maximal serve velocity in professional tennis players. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(10), 1157-1165.
- Bower, R., & Cross, R. (2005). String tension effects on tennis ball rebound speed and accuracy during playing conditions. *J Sports Sci*, 23(7), 765–771.
- Brody, H. (1987). *Tennis science for tennis players*. Philadelphia: University Of Pennsylvania Press.

- Brody, H., Cross, R., & Lindsey, C. (2002). *The physics and technology of tennis*. Solana Beach, CA: Racquet Tech Publishing.
- Bunn, J. (1972). *Scientific principles of coaching*. Englewood cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Carlton, L. G., Chow, J. W., & Shim, J. (2006). Variability in motor output and olympic performers. In K. Davids, S. Bennett, & K. Newell (Eds.), *Movement system variability*. Champaign, IL: Human Kinetics (pp. 85-108).
- Cauraugh, J. H., Gabert, T. E., & White, J. J. (1990). Tennis serving velocity and accuracy. *Perceptual and Motor Skills*, 70, 719-722.
- Chandler, T. J. (1995). Exercise training for tennis. *Clin Sports Med*, 14(1), 33-46
- Chiu, F. C. (2010). Comparative analysis on the skill characteristics of men's singles matches in 2008 Grand Slam tournaments. *Sports and Exercise Research*, 12, 83-95.
- Christmass, M. A., Richmond, S. E., & Cable, N. T., et al. (1998). Exercise intensity and metabolic response in singles tennis. *J Sports Sci*, 16, 739-47.
- Cohen, D. B., Mont, M. A., Campbell, K. R., Vogelstein, B. N., & Loewy, J. W. (1994) Upper extremity physical factors affecting tennis serve velocity. *Am. J. Sportsmed*, 22, 746-750.
- Crespo, M. (Coord.) (1993). *Tenis II*. Madrid: Real Federación Española de Tenis. Comité Olímpico Español.
- Cronin, J. B., & Hansen, K. T. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res*, 19, 349-57.
- Cross, R. (2001). Customising a tennis racket by adding weights. *Sports Engineering*, 4, 1-14.
- Cross, R., & Pollard, G. (2009). Grand Slam men's singles tennis 1991-2009. Serve speeds and other related data. *ITF Coaching and Sport Science Review*, 16(49), 8-10.
- Davey, P. R., Thorpe, R. D., & Williams, C. (2002). Fatigue decreases skilled tennis performance. *J Sport Sci*, 20, 311-18.
- Davey, P. R., Thorpe, R. D., & Williams, C. (2003). Simulated tennis match play in a controlled environment. *J Sports Sci*, 21, 459-67.
- Ellenbecker, T. S. (1991). A total arm strength isokinetic profile of highly skilled tennis players. *Isokinetic and Exercise Science*, 1, 9-21.
- Ellenbecker, T. S., & Roetert, E. P. (2000). Isokinetic testing and training in tennis. In L. Brown (Ed.), *Isokinetic in human performance*. Champaign, IL: Human Kinetics (pp. 358-377).
- Ellenbecker, T. S., & Roetert, E., P. (2004). Velocity of a tennis serve and measurement of isokinetic muscular performance: Brief review and comment. *Perceptual and Motor Skills*, 98, 1368-1370.

- Ellenbecker, T. S., Daviesg, J., & Rowinskmi, J. (1988). Concentric versus eccentric isokinetic strengthening of the rotator cuff: objective data versus functional test. *American Journal of Sports Medicine*, 16, 64-68.
- Ellenbecker, T. S., Roetert, E. P., & Riewald, S. (2006). Isokinetic profile of wrist and forearm strength in elite female junior tennis players. *Br J Sports Med*, 40, 411-414.
- Elliott, B. C., Blanksby, B., & Ellis, R. (1980). Vibration and rebound velocity characteristics of conventional and oversized tennis rackets. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(4), 608-615.
- Elliott, B. C., & Wood, G. A. (1983). The biomechanics of the foot-up and foot- back tennis service techniques. *Aust. J. Sport Sci*, 3, 3-6.
- Elliott, B. C. (1986). A three-dimensional cinematographic analysis of the tennis serve. *Int. J. Sport Biomech.* 2, 260-271.
- Elliott, B., Marsh, T., & Blanksby, B. (1986). A three-dimensional cinematographic analysis of the tennis serve. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 260-271.
- Elliott, B. & Marsh, T. (1989). A biomechanical comparison of the topspin and backspin forehand approach shots in tennis. *Journal of Sports Sciences*, 7, 215-227.
- Elliott, B. C., Marshall, R. N., & Noffal, G. (1995). Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. *J. Appl. Bio- Mech.* 11, 433-442.
- Elliott, B. C., & Saviano, N. (2001). Serves and returns. In P. Robert & J. Groppe, (Eds.), *World-class tennis technique*. Champaign, IL: Human Kinetics (pp. 207-222).
- Elliott, B. C. Biomechanics of tennis. (2002). In: Per AFH, Renstrom (Ed.), *Handbook of Sports Medicine and Science Tennis*. Stockholm, Sweden, Ed. OsneyMead, Oxford: Blackwell Science, (pp. 1-28).
- Elliott, B. (2003). The development of racquet speed. In: B. Elliott, M. Reid, & M. Crespo (Eds.), *Biomechanics of Advanced Tennis*. London, England: The International Tennis Federation, (pp. 102).
- Elliott, B., Reid, M., & Crespo, M. (2003a). *Biomecánica del tenis avanzado*. Londres, Inglaterra: The International Tennis Federation, ITF.
- Elliott, B., Fleisig, G., Nicholls, R., & Escamilla, R. (2003b). Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. *J Sci Med Sport*, 6, 76- 87.
- Elliott, B. (2006). Biomechanics and tennis. *British Journal of Sports Medicine*, 40, 392-396.
- Elliott, B. C. (2008). Hitting and kicking. In V. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in sport: Performance enhancement and injury prevention* (pp. 487-504). Wiley Online Library (Online ISBN: 9780470693797).
- Elliott, B., Reid, M., & Crespo, M. (2009). *Technique development in tennis stroke production*. London, England: The International Tennis Federation, ITF.
- Escamilla, R. F., & Andrews, J. R. (2009). Shoulder Muscle Recruitment Patterns and Related Biomechanics during Upper Extremity Sports. *Sports Med*, 39 (7), 569-590.

- Euon, B. (2003). Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6, 76-87.
- Euon, B., Mester, J., Kteinoder, H., & Yue, Z. (2003). Loading and stroke production. In B. Elliott, M. Reid, & M. Crespo (Eds.), *Biomechanic Advanced Tennis*. Washington, International Tennis Federation. (pp. 93-107).
- Faigenbaum, A. D. (2003). Youth resistance training. *President's Council on Physical Fitness and Sports Research Digest*, 4(3), 1-8.
- Faigenbaum, A. D. & Westcott, W. (2009). *Youth Strength Training for Health, Fitness and Sport*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Fernández-Fernández, J., Ellenbecker, T., Sanz-Rivas, D., Ulbricht, A., & Ferrauti, A. (2013). Effects of a 6-week junior tennis conditioning program on service velocity. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, 232-239.
- Fernández-Fernández, J., Fernández-García, B., Méndez-Villanueva, A., & Terrados, N. (2005). Exercise intensity in tennis: simulated match play versus training drills. (Eds. STMS & ITF).
- Fernández-Fernández, J., Méndez-Villanueva, A., & Pluim, B. M. (2006). Intensity of tennis play. *Br J Sport Med*, 40, 387-391.
- Fernández-Fernández, J., Sáez de Villareal, E., Sanz-Rivas, D., & Moya, M. (2016). The effects of 8-week plyometric training on physical performance in young tennis players. *Pediatric Exercise Science*, 28, 77 -86.
- Fernández-Fernández, J., Sanz-Rivas, D., Méndez-Villanueva, A. (2009). A review of the activity profile and physiological demands of tennis match play. *Strength Cond J*, 31, 15–26.
- Fernandez-Fernandez, J., Kinner, V., & Ferrauti, A. (2010). The physiological demands of hitting and running in tennis on different surfaces. *J Strength Cond Res*, 24(12), 3255-3264.
- Fernández-Fernández, J., Ulbricht, A., & Ferrauti, A. (2014). Fitness testing of tennis players: How valuable is it? *Br J Sports Med*, 48, 22–31.
- Ferrauti, A., Weber, K., & Wright, P., R. (2003). Endurance: basic, semi-specific and specific. In: M. Reid, A. Quinn, & M. Crespo (Eds.), *Strength and conditioning for tennis*. London: International Tennis Federation, (pp. 93–111).
- Fett, J., Ulbricht, A., & Ferrauti, A. (2018). Impact of Physical Performance and Anthropometric Characteristics on Serve Velocity in Elite Junior Tennis Players. *J Strength Cond Res*. doi: 0.1519/JSC.0000000000002641.
- Fleisig, G., Nicholls, R., Elliott, B., & Escamilla, R. (2003). Kinematics used by world class tennis players to produce high-velocity serves. *Sports Biomech*, 2,51–64.
- Genevois, C., Reid, M., Rogowski, I., & Crespo, M. (2015). Performance Factors Related to the Different Tennis Backhand Groundstrokes: A Review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14, 194-202.

Genevois, C., Reid, M., & Crespo, M. (2016). The forehand shot in tennis. Performance factors: Functional analysis and practical implications. London, England: The International Tennis Federation, ITF

Girard, O., & Millet, G. P. (2009). Physical determinants of tennis performance in competitive teenager players. *Journal of strength and conditioning research*, 23(6), 1867–1872.

Girard, O., Micallef, J. P., & Millet, G. P. (2005). Lower limb activity during the power serve in tennis: effects of performance level. *Med. Sci. Sports Exerc*, 37, 1021–1029.

Girard, O., Micallef, J. P., Millet, G. P. (2007). Influence of restricted knee motion during the flat first serve in tennis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 950-957.

Groppel, J. L. (1984). Tennis for advanced players and those who would like to be. Champaign IL: Human Kinetics.

Hazte, H. (1994). Impact probability distribution, sweet spot, and the concept of an effective power region in tennis rackets. *Journal of Applied Biomechanics*, 10(1), 43-50.

Herring, R., & Chapman, A. (1992). Effects of changes in segmental values and timing of both torque and torque reversal in simulated throws. *Journal of Biomechanics*, 25(10), 1173-1184.

Hornery, D. J., Farrow, D., Mujika, I., & Young, W. (2007). Fatigue in tennis. Mechanisms of fatigue and effects on performance. *Sports Med*, 37(3), 199-212.

Ivancevic, T. T., Jovanovic, B., Jovanovic, S., Djukic, M., Djukic, N., & Lukman, A. (2011). Paradigm shift for future tennis the art of tennis physiology, biomechanics and psychology. In R. Dillmann, Y. Nakamura, S. Schaal, & D. Vernon (Eds.), *Cognitive Systems Monographs*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, (12, pp. 121–182).

Johnson, C.D., & McHugh, M., P. (2006). Performance demands of professional male tennis players. *British Journal of Sports Medicine*, 40, 696-699.

Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsumoda, N., y Fukunaga, T. (1995). Strength and cross sectional areas of reciprocal muscle groups in the upper arm and thigh during adolescence. *International Journal of Sports Medicine*, 16(1), 54-60.

Karvonen, J., & Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Med*, 5(5), 303-311.

Kawakami, Y., Muraoka, T., Ito, S., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2002). In vivo muscle fibre behaviour during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity. *J Physiol*, 540(Pt 2), 635-646.

Kibler, W. B. (1995). Biomechanical analysis of the shoulder during tennis activities. *Clinics 111 Sports Medicine*, 1-1, 79-85.

Kibler, W. B., McQueen, C., & Uhl, T. (1988). Fitness evaluations and fitness findings in competitive junior tennis players. *Clin Sports Med*, 7(2), 403-16.



- Knudson, D. & White, S. (1989). Forces on the hand in the tennis forehand drive: Applications of force sensing resistors. *Journal of Applied Biomechanics*, 5(3), 324-331.
- Knudson, D. (2008). Biomechanical aspects of the tennis racket. In Y. Hong & R. Bartlett (Eds.), *Handbook of biomechanics and human movement science*. USA: Routledge. (pp. 244-256).
- Knudson, D., & Bahamonde, R. (2001). Effect of endpoint conditions on position and velocity near impact in tennis. *Journal of Sports Sciences*, 19, 839-844.
- Knudson, D. V., Noffal, G. J., Bahamonde, R. E., Bauer, J. A., & Blackwell, J. R. (2004). Stretching has no effect on tennis serve performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 654–656.
- König, D., Huonker, M., Schmid, A., Halle, M., Berg, A., & Keul, J. (2001). Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. *Med Sci Sports Exerc*, 33, 654–8.
- König, D., Huonker, M., Schmid, A., Halle, M., et al. (2000). Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. *Medicine & Science in Sport Exercise*, 40, 654-658.
- Kovacs, M., S. (2006). Applied physiology of tennis performance. *Br J Sports Med*, 40, 381-386.
- Kovacs, M., S. (2007). Tennis Physiology. Training the Competitive Athlete. *Sports Med*, 37(3), 189-198.
- Kovacs, M. S., Roetert, E. P., & Ellenbecker, T. S. (2008). Efficient deceleration: the forgotten factor in tennis-specific training. *Strength and Conditioning Journal*, 30(6): 58-69.
- Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Triplett-Mcbride, N. T., Fry, A. C., Koziris, L. P., Ratamess, N. A., Bauer, J. E., Volek, J. S., McConnell, T., Newton, R. U., Gordon, S. E., Cummings, D., Hauth, J., Pullo, F., Lynch, J. M., Fleck, S. J., Mazzetti, S.A., & Knuttgen, H. G. (2003). Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players. *Med. Sci. Sports Exerc*, 35,157–168.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., et al. (1995b). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physio*, 78:976–989.
- Kraemer, W. J., Triplett, N. T., Fry, A. C., et al. (1995a). An in-depth sports medicine profile of women college tennis players. *J. Sport Rehabil*. 4, 79–98.
- Kramer, T., Valente-Dos-Santos, J., Malina, R. M., Huijgen, B.C.H., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2016). Modeling Longitudinal Changes in 5m Sprinting Performance Among Young Male Tennis Players. *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 2, 122(1), 299–318.

- Landlinger, J., & Benko, U. (2005). Development of a Tennis Specific Speed Test for the Arm Movement and Evaluation of a Tennis Specific Speed Training Method . 14th ITF Worldwide Coaches Workshop, Turkey 2005 - “Quality Coaching for the Future”
- Landlinger, J., Lindinger, S., Stoggl, T., Wagner, H., & Muller, E. (2010). Key factors and timing patterns in the tennis forehand of different skill levels. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 643–651.
- Landlinger, J., Stöggl, T., Lindinger, S., Wagner, H., & Müller, E. (2012). Differences in ball speed and accuracy of tennis groundstrokes between elite and high-performance players. *European Journal of Sport Science*, 12(4), 301-308.
- Lees, A. (2003). Science and the major racket sports: A review. *J Sports Sci*, 21, 707-32.
- Lillegard, W., Brown, E., Wilson, D., Henderson, R., y Lewis, E. (1997). Efficacy of strength training in prepubescent to early post pubescent males and females: Effects of gender and maturity. *Pediatric Rehabilitation*, 1, 147-157.
- Lintner, D., Noonan, T. J., & Kibler, W. B. (2008). Injury patterns and biomechanics of the athlete’s shoulder. *Clin Sports Med*, 27, 527–551.
- Liu, H., Li, L. & Fang, X. (2000). Biomechanical analysis and evaluation of the power serve of female tennis players. *Proceedings of: XVIII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Hong Kong: China, pp. 293-296.
- Lyons, M., Al-Nakeeb, Y., Hankey, J., & Nevill, A. (2013). The effect of moderate and high-intensity fatigue on groundstroke accuracy in expert and non-expert tennis players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, 298-308.
- Malina, R. M. y Bouchard, C. (1991). *Growth maduration and physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Maquirriain, J., Baglione, R., & Cardey, M. (2016). Male professional tennis players maintain. *European Journal of Sport Science*, 6, (7), 845–849.
- Marshall, R. & Elliott, B. (2000). Long-axis rotation: the missing link in proximal-to-distal segmental sequencing. *Journal of Sports Sciences*, 18(4), 247-254.
- Martin, C. (2014). Tennis serve biomechanics in relation to ball velocity and upper limb joint injuries. *J Med Sci Tennis*, 19(2).
- Martin, C., Bideau, B., Delamarche, P., & Kulpa, R. (2016). Influence of a prolonged tennis match play on serve biomechanics. *Plos One*, 11(8).
- Martin, C., Bideau, B., Ropars, M., Delamarche, P., & Kulpa, R. (2014). Upper limb joint kinetic analysis during tennis serve: Assessment of competitive level on efficiency and injury risks. *Scand J Med Sci Sports*, 24(4), 700-707.
- Mavvidis, A., Koronas, K., Riganas, C., & Metaxas, T. (2005). Speed differences between forehand and backhand in intermediate-level tennis players. *Kinesiology*, 37(2), 159-163.

- Mavvidis, A., Stamboulis, A., Dimitriou, V., & Giampanidoy, A. (2010) Differences in forehand and backhand performance in young tennis players. *Studies in Physical Culture and Tourism*, 17(4), 315-319.
- Méndez-Villanueva, A., Fernández-Fernández, J., Bishop, D. (2007). Exercise-induced homeostatic perturbations provoked by singles tennis match play with reference to development of fatigue. *Br J Sports Med*, 41, 717–722.
- Mitchell, S. R., Jones, R., & King, M. (2000). Head speed vs. racket inertia in the tennis serve. *Sports Engineering*, 3, 99-110.
- Mitchell, S. R., Jones, R., & King, M. (2000). Head speed vs. racket inertia in the tennis serve. *Sports Engineering*, 3, 99-110.
- Morante, S. & Brotherhood, J. (2006). Match characteristics of professional singles tennis. *Medicine & Science in Tennis*, 10(3), 12-13.
- Morris, M., Jobe, F. W., Perry, J., Pink, M., & Healy, B. S. (1989). Electromyographic analysis of elbow function in tennis players. *Am J Sports Med*, 7, 241-247.
- O'Donoghue, P. & Ingram, B. (2001). A notational analysis of elite tennis strategy. *J. Sports Sci*, 19, 107–115.
- O'Donoghue, P. G., & Ballantyne, A. (2003). The impact of speed of serve in Grand Slam singles tennis. In Jean-Francois Kahn, Adrian Lees, Ian Maynard (Eds.), *Proceedings of the Science and Racket Sport. 2004 Science and Racket Sports III*. London: Routledge (pp.179–184).
- Panjan, A., Sarabon, N., & Filipcic, A. (2010). Prediction of the successfulness of tennis players with machine learning methods. *Kinesiology* (42)1, 98-106.
- Perry, A. C., Wang, X., Feldman, B. B., Ruth, T., & Signorile, J. (2004). Can laboratory-based tennis profiles predict field tests of tennis performance?. *J Strength Cond Res*, 18, 136–143.
- Plagenhoef, S. (1971). *Patterns of human motion: a cinematographic analysis*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Pluim, B. M., Ferrauti, A., Broekhof, F., Deutekom, M., Gotzmann, A., Kuipers, H., & Webwr, K. (2006). The effects of creatine supplementation on selected factors of tennis specific training. *British Journal of Sports Medicine*, 40 (60), 507-11.
- Pratt, M. (1989). Strength, flexibility, and maturity in adolescent athletes. *Al J Dis Child*, 143, 560–563.
- Pugh, S.F., Kovalski, J. E., Heitman, R. J., & Gilley, W. F. (2003). Upper and lower body strength in relation to ball speed during a serve by male collegiate tennis players. *Percept. Mot. Skills*, 3:867–872.
- Putnam, C. (1993). Sequential motion of body segments in striking and throwing skills: description and explanation. *Journal of Biomechanics*, 26(Suppl. 1), 125-135.
- Reid, M., & Elliot, B. (2002). The one- and two-handed backhands in tennis. *Sports Biomech*, 1(1), 47-68.

- Reid, M., Elliott, B., & Alderson, J. (2008). Lower-limb coordination and shoulder joint mechanics in the tennis serve. *Med Sci Sports Exerc*, 40, 308-315.
- Renström, P. (2002). *Handbook of Sports Medicine and Science. Tennis*. Oxford: Blackwell Science.
- Roetert, E. P., Gladys, Garrett, E., Brown, S. W., & Camaione, D. N. (1992). Performance profiles of nationally ranked junior tennis players. *Journal of Applied Sport Science Research*, 6(4), 225-231.
- Roetert, E. P., McCormick, T. J., Brown, S. W., & Ellenbecker, T. S. (1996). Relationship between isokinetic and functional trunk strength in elite junior tennis players. *Isokinetics Exercise Science*, 6, 15-20.
- Roetert, E.P., Ellenbecker, T.S., & Reid, M. (2009). Biomechanics of the tennis serve: Implications for strength training. *Strength and Conditioning Journal*, 31, 35-40.
- Sanz, D., & Vila, F. (2003). Aplicación del entrenamiento de la fuerza en el tenis. La importancia del control del movimiento. *Apuntes. Educación Física y Deportes*, 71, 89-91.
- Sarabia, J. M., Juan, C., Hernández, H., Urbán, T., & Moya, M. (2010). El mantenimiento de la potencia mecánica en tenistas de categoría cadete. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 25, 51-74.
- Shang-Min, Ma, Liu, C. C., Tan, Y., & Ma, S. C. (2013). Winning matches in Grand Slam men's singles: An analysis of player performance-related variables from 1991 to 2008. *Journal of Sport Sciences*, 31(11), 1147-1155
- Sheridan, H. (2006). Tennis technologies: de-skilling and re-skilling players and the implications for the game. *Sport in Society*, 9(1), 32-50.
- Signorile, J.F., Sandler, D. J., Smith, W. N., Stoutenberg, M., & Perry, A. C. (2005). Correlation analyses and regression modeling between isokinetic testing and on-court performance in competitive adolescent tennis players. *Journal of Science and Conditioning Research*, 19(3), 519-526.
- Smekal, G., Van Duvillard, S. P., Rihacek, C., et al. (2001). A physiological profile of tennis match play. *Medicine & Science in Sport Exercise*, 33, 999-1005.
- Smekal, G., Von Duvillard, S. P., Pokan, R., Tschan, H., Baron, R., Hofmann, P., Wonish, M. Y. & Bachl, N. (2003). Changes in blood lactate and respiratory gas exchange measures in sports with discontinuous load profiles. *Eur J Appl Physiol*, 89, 489-495.
- Springs, E., Marshall, R., Elliott, B. & Jennings, L. (1994). A three-dimensional kinematic method for determining the effectiveness of arm segment rotations in producing racquet-head speed. *Journal of Biomechanics*, 27, 245-254.
- Subijana, C. y Navarro, E. (2007). Análisis de la técnica en el tenis: el modelo biomecánico en jugadores de alto nivel. *Kronos*, 5(11), 10-15.
- Sweeney, M. (2005). Contributions to lower limb drive and trunk rotation in the high-velocity tennis serve. Honours Thesis, The University of Western Australia.
- Takahashi, H., Wada, T., Maeda, A., Kodama, M., Nishizono, H., & Kurata, H. (2006). The relationship between court surface and tactics in tennis using the computerized

scorebook for tennis. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(2), 15-25.

Theodoros, I., Antonios, T., & Kariotou, M. (2008). The precision of service, forehand and backhand strikes from the baseline, and their comparison between male and female tennis athletes. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 8(3), 49-62.

Torres, G., & Carrasco, C. (2004). *Investigación en los deportes de raqueta: Tenis y Bádminton*. Murcia: Quaderna.

Ulbricht, A., Fernández-Fernández, J., Méndez-Villanueva, A., & Ferrauti, A. (2016). Impact of fitness characteristics on tennis performance in elite junior tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 989-998.

Van Gheluwe, B., & Hebbelinck, M. (1985). The kinematics of the service movement in tennis: a three dimensional cinematographical approach. In D.A. Winter, R.W. Norman, R.P. Wells, & A.E. Patla (Eds.), *Biomechanics IX-B*. Champaign, IL: Human Kinetics, (pp. 521-526).

Van Gheluwe, B., & Hebbelinck, M. (1985). The kinematics of the service movement in tennis: a three dimensional cinematographical approach. In D.A. Winter, R.W. Norman, R.P. Wells, & A.E. Patla (Eds.), *Biomechanics IX-B*. Champaign, IL: Human Kinetics, (pp. 521-526).

Vaverka, F., & Cernosek, M. (2016). Quantitative assessment of the serve speed in tennis. *Sports Biomech*, 15(1), 48-60.

Vergauwen, L., Madou, B., & Behets, D. (2004). Authentic evaluation of forehand groundstrokes in young low- to intermediate-level tennis players. *Med Sci Sports Exerc*, 36(12), 2099-2106.

Vergauwen, L., Spaepen, A. J., Lefevre J, & Hespel, P. (1998). Evaluation of stroke performance in tennis. *Med Sci Sport Exerc*, 30, 1281-8.

Wang L.H., Wu H., Su F., Lo K. (1998). Kinematics of the upper limb and trunk in tennis players using single handed backhand strokes. In: *Proceedings of XVI International Symposium on Biomechanics in Sport*, Konstanz, Germany, July 21-25.

Weber, K. (2003). Demand profile and training of running - speed in elite tennis. In *International Tennis Federation. Applied sport science for high performance*. Tennis. (pp. 41-48). Spain: International Tennis Federation.

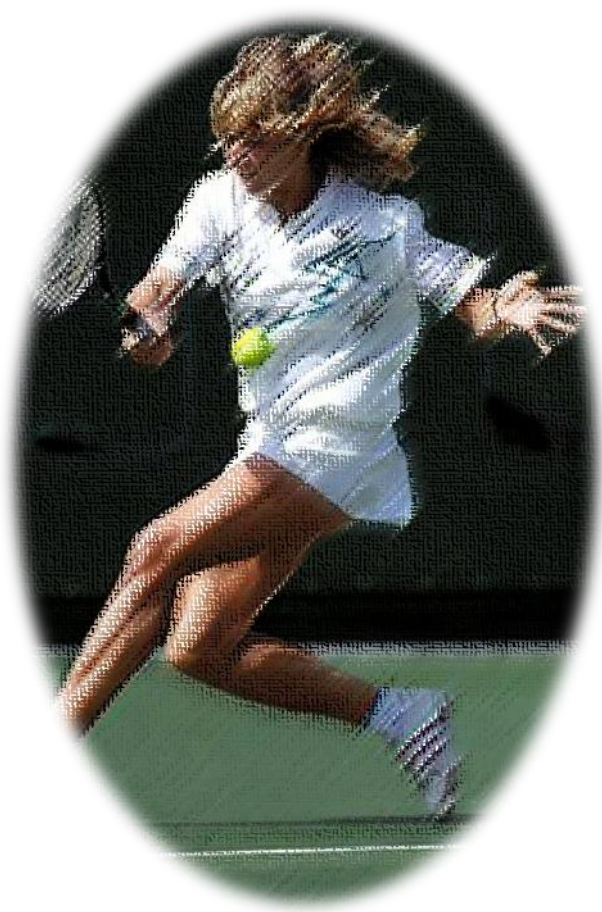
Whiteside, D., Elliott, B., Laya, B., & Reid, M. (2014). The effect of racquet swing weight on serve kinematics in elite adolescent female tennis players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17, 124-128.

Wilk, K. E., Voight, M. L., Keirns, M. A., Gambetta, V., Andrews, J. R., & Dillman, C. J. (1993). Stretch shortening drills for the upper extremities: Theory and clinical application. *J Orthop Sports Phys Ther*, 17, 225-239.

Wrigley, T. Correlations with athletic performance. (2000). In L. Brown (Ed.), *Isokinetics in human performance*. Champaign, IL: Human Kinetics (pp. 42-73).

2.

## ESTUDIO 1





## 2. Estudio 1

### Problema

Según se deduce de la revisión bibliográfica analizada, algunos estudios confirman que el tenis se caracteriza por la velocidad y la precisión del golpeo de la bola (Landlinger et al., 2012; Vergauwen et al., 2004; Kolman et al., 2017). Sin embargo, no hemos encontrado estudios que analicen la evolución de la velocidad y la precisión a lo largo de la vida deportiva de los tenistas. La velocidad de la bola podría estar condicionada por la talla del jugador, que teóricamente sería favorable para aumentar la velocidad y la precisión, ya que por una parte permite una mayor velocidad periférica de la raqueta y por ello una mayor velocidad al golpear la bola, y además un mayor ángulo para colocar la bola en el cuadro de saque (Cross and Pollard, 2009; Vaverka and Cernosek, 2013; Bonato et al., 2015; Brody, 2006; Reid et al., 2012). Parece, por tanto, que una mayor talla ofrecería más posibilidades de éxito. Por el contrario, no se encontraron relaciones significativas entre la velocidad en el servicio y el peso corporal (Bonato et al., 2015), a pesar de que, como es conocido, existe una relación positiva entre la talla y el peso corporal. Aunque algunos estudios se han orientado al análisis de la evolución de determinadas características antropométricas y físicas en deportistas jóvenes (Kramer et al., 2016; Kramer et al., 2017; Myburgh et al., 2016; Ulbricht et al., 2016), son muy escasos los estudios que analizan de manera conjunta la relación de la velocidad y precisión de la bola con variables antropométricas en distintos niveles deportivos (Ulbricht et al., 2016; Kolman et al., 2017). Pero, especialmente, no hemos encontrado ningún estudio que contemple la posibilidad de que algunos de los valores de las correlaciones encontradas entre las distintas variables sean espurias, ya que podrían estar determinadas por terceras variables. En síntesis, observamos que, tanto en relación con las variables que podrían explicar la velocidad de la bola como en las técnicas de análisis de los datos, se observan algunas deficiencias, lo cual viene a justificar que se nos plantee el primer problema objeto de estudio.

***Problema del estudio 1.*** *¿En qué medida, las variables antropométricas talla, peso y envergadura, la edad, la madurez y el nivel deportivo explican la varianza de la velocidad y la precisión del saque y los golpes de fondo de derecha y de revés en jugadores de tenis menores de 20 años?*



**Objetivos del estudio 1.**

Del problema formulado se derivan los siguientes objetivos:

*Comprobar:*

- *La fiabilidad de la velocidad de la bola en los distintos golpes y la variabilidad en la velocidad de golpeo según los niveles deportivos.*
- *Si se dan diferencias entre la velocidad media de la bola y la precisión en el golpeo según el nivel deportivo.*
- *En qué medida las variables antropométricas (talla, peso y envergadura), la edad, el nivel deportivo y la madurez explican la velocidad de la bola en los golpes de saque, de derecha y de revés al aplicar correlaciones de orden cero, correlaciones parciales controlando el resto de las variables y la regresión lineal múltiple.*

**Hipótesis del estudio 1.**

Es razonable aceptar que la práctica deportiva viene asociada al aprendizaje de la actividad con la que se entrena, lo que, normalmente, va a permitir una mejora del nivel de rendimiento del deportista. Y si, como hemos constatado en una serie de estudios previos, el rendimiento en el tenis es en gran medida dependiente de la velocidad a la que se desplaza la bola y de la precisión de su trayectoria, es probable que tanto la velocidad de la bola como la precisión del golpeo mejoren a medida que mejora el nivel deportivo. Por tanto, proponemos las siguientes hipótesis:

*Hipótesis 1.1. La velocidad de la bola y la precisión del golpeo aumentan de manera significativa a medida que mejora el nivel deportivo*

*Hipótesis 1.2. La fiabilidad de las medidas de la velocidad de la bola en los golpes de saque, derecha y revés tiende a ser superior a medida que mejora el nivel deportivo*

No obstante, además del nivel deportivo, la fiabilidad puede venir determinada por el tipo de golpe de que se trate. Las condiciones en las que se realiza el saque son mucho más estables que las de los golpes de derecha y de revés. El saque se puede considerar como una técnica cerrada, y por tanto que se realiza siempre en las mismas condiciones, y esto se debe a que en el saque es el propio jugador el que determina la velocidad, la dirección y la altura de la bola en el momento del golpeo, mientras que en los golpes de fondo es necesario hacer un ajuste de la técnica de golpeo a los cambios constantes de velocidad, altura, efecto y dirección de la bola en la ejecución de cada golpe. Por tanto, es probable que ante una situación estable, la fiabilidad –entendida precisamente como estabilidad de la velocidad de golpeo– sea mayor en el saque que en los golpes de fondo. Estos razonamientos nos llevan a plantear la siguiente hipótesis:

*Hipótesis 1.3. La fiabilidad de las medidas de la velocidad de la bola es superior en el saque que en los golpes de derecha y de revés en todos los niveles deportivos*

La velocidad de la bola depende de manera directa de la fuerza que se le aplica en el momento del golpeo. A su vez, la fuerza que se consiga aplicar dependerá de la fuerza muscular y de la técnica del jugador. Pero ante una misma fuerza relativa (fuerza en

relación con el peso corporal) y una misma calidad técnica de ejecución, hay factores como el peso corporal, la talla y la envergadura que en sí mismos tienen una relación positiva con la fuerza que se puede aplicar, ya que un mayor peso corporal y una mayor talla vienen asociados a una mayor masa muscular. De la misma manera, una mayor edad, dentro del rango de edades de la muestra que se utiliza en este estudio, debe estar asociada a una mayor talla, mayor peso y nivel deportivo. Por tanto, es probable que todas estas variables de manera independiente puedan explicar un alto porcentaje de la varianza de la velocidad, pero como también es altamente probable que exista relación entre ellas, afirmar que todas presentan altos valores de correlación con la velocidad de la bola sería, probablemente, incurrir en un grave error, ya que las correlaciones bivariadas de cada variable con la velocidad de la bola podrían estar condicionadas por los valores del resto de las variables. Estos razonamientos nos sugieren que es muy probable que los valores de las correlaciones de orden cero se reduzcan claramente al controlar el resto de las variables, tanto si aplicamos una correlación parcial como si aplicamos una regresión lineal múltiple. No obstante, no tenemos ningún argumento para determinar de qué grado será la reducción ni en qué variables tendrá más efecto. Por ello, nuestra hipótesis solo hace referencia a la probabilidad de que solamente algunas variables de las que utilizamos como variables predictoras serán relevantes para la explicación del rendimiento del tenista cuando este se valora por la velocidad de la bola en los distintos golpes.

*Hipótesis 1.4. Todas las variables utilizadas en este estudio (talla, peso, envergadura, edad y nivel deportivo) pierden poder explicativo de la velocidad de la bola cuando sus correlaciones de orden cero con la velocidad son controladas por el resto de las variables y, por ello, no todas entran en la ecuación de regresión múltiple como variables predictoras del rendimiento en la velocidad de golpeo de ninguno de los golpes.*

## Metodología del Estudio 1

### *Tipo de investigación*

La metodología del estudio queda determinada por el tipo de investigación que pretendamos hacer, y más concretamente por los objetivos que se pretenden, por la naturaleza de las variables y por el nivel de control. Dadas las características de los datos, nuestro estudio es una investigación *cuantitativa*. Por el grado de manipulación de las variables y los objetivos del estudio, nuestra investigación es *descriptiva*, resaltando especialmente el carácter predictor del rendimiento específico (variables dependientes) de determinadas variables independientes (predictoras). Por el enfoque del análisis de los datos, la investigación es *correlacional*. La investigación es de carácter *transversal*, ya que analizamos la relación entre los datos sincrónicamente. Dentro del estudio introducimos una *variable moderadora*, que viene determinada por el nivel deportivo de los sujetos. De esta manera podemos formar cinco grupos dentro de la muestra objeto de estudio. Esto nos permitirá detectar la magnitud de las diferencias entre poblaciones (dentro de las características de los sujetos seleccionados) en los valores de las variables estudiadas.

### *Diseño del estudio*

Este primer estudio tuvo como objetivo comprobar qué variables antropométricas y de nivel deportivo tenían mayor poder explicativo del rendimiento específico en los tres golpes fundamentales y más frecuentes en el tenis: el saque, el golpe de derecha y el de revés. El rendimiento específico en este caso se determinó por la velocidad máxima y media de golpeo en una serie de golpes realizados a la máxima velocidad posible con la exigencia de una precisión determinada. Adicionalmente, se consideró pertinente conocer el grado de estabilidad (fiabilidad) en la velocidad de golpeo, dada la confianza que este análisis nos proporciona sobre los datos que manejamos si los resultados del análisis de fiabilidad son favorables. Este primer estudio se llevó a cabo con un numeroso grupo ( $n = 85$ ) de jugadores de tenis de los seleccionados por la Federación Andaluza de Tenis para formar parte de sus programas de entrenamiento y desarrollo de talentos deportivos. Los sujetos fueron instruidos sobre los objetivos del estudio y los procedimientos a llevar a cabo para obtener los datos que se pretendían. En sucesivas sesiones los sujetos fueron evaluados sobre determinadas variables antropométricas (peso, talla y envergadura) y la velocidad de golpeo en los golpes de saque, derecha y revés. El análisis de los datos se

llevó a cabo a través de correlaciones de orden cero y de correlaciones parciales, así como de un análisis lineal de regresión múltiple.

### *Sujetos*

La muestra del estudio estuvo compuesta por 85 jugadores de tenis jóvenes, repartidos por categorías de edad: benjamín, alevín, cadete y júnior. Todos los participantes formaban parte del grupo de jugadores controlados por la Federación Andaluza de Tenis dentro de su plan de formación de deportistas con proyección para alcanzar resultados relevantes al menos en el ámbito nacional. Para el análisis de las distintas variables objeto de estudio, los sujetos se distribuyeron en cinco grupos según los niveles de juego, determinados por el ranking nacional y el número de competiciones al año conforme a la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Distribución de grupos por nivel y ranking

Grupos/nivel	Nivel de juego	Nº de competiciones/año	Ranking	Puntos
1	básico B	2 a 4	7001 para abajo	0 a 9
1	básico A	5 a 8	5787 al 7000	10 a 40
2	intermedio B	8	2352 al 5786	41 a 46
2	intermedio A	9 a 12	1497 a 2351	47 a 196
3	avanzado B	14 a 15	1025 al 1496	197 a 245
3	avanzado A	15 a 18	714 al 1024	246 a 520
4	muy avanzado B	19	689 al 713	521 a 598
4	muy avanzado A	20 a 25	161 a 688	599 a 650
5	experto	24 a 29	100 al 160	651 a 800
5	aspirante ATP	30	1 al 99	801 en adelante

Todos los sujetos fueron evaluados en su rendimiento técnico específico a través del registro de la velocidad de sus golpes de saque, derecha y revés. Para poder tomar parte en la investigación, los jugadores debían cumplir dos requisitos: i) haber realizado entrenamientos de tenis de manera específica con regularidad durante al menos los dos últimos meses antes de iniciar la investigación, ii) no padecer ninguna enfermedad o problema de salud que pudiera suponer un riesgo ante el esfuerzo físico intenso (p. ej.: disfunción renal, anormalidades cardíacas, enfermedades respiratorias o metabólicas, patologías osteoarticulares...). Una vez seleccionados los sujetos que cumplían los requisitos y confirmada su disponibilidad, la de sus padres y la de la Federación, y tras ser informados del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, los

sujetos o sus representantes firmaron el correspondiente *Consentimiento Informado* (Anexo I). El estudio fue realizado de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

### ***Variables objeto de estudio***

#### *Variables independientes*

- *Peso corporal* (PC) (kg)
- *Talla* (cm)
- *Edad* (años)
- *Envergadura* (EVG) (cm)
- *Nivel deportivo* (ND). Definido por valores del 1 al 5, según los criterios indicados en el apartado anterior (sujetos)

#### *Variables dependientes*

- *Velocidad* ( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) de golpeo en el saque (S) en el golpe de derecha (D) y en el de revés (R)
- *Precisión* en los tres tipos de golpeo. Se determinó por el cociente entre el número de bolas que botan dentro del espacio preestablecido (bolas “buenas”) y el número de bolas que han sido golpeadas. Según la definición de esta variable, el valor máximo de la *precisión* será igual a 1
- *Variabilidad* de la velocidad de golpeo. Se determina por la desviación típica ( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) de los valores de las velocidades del conjunto de bolas golpeadas que botan en el espacio preestablecido

### ***Control de variables extrañas***

En un estudio de estas características, las posibles variables extrañas o contaminantes que pudieran intervenir en los resultados hacen referencia a las siguientes posibles fuentes de error y de influencia en las variables dependientes:

- *Validez de los instrumentos de medida*

Cada uno de los instrumentos utilizados, como se explica más adelante, está diseñado para medir de manera directa el indicador del rendimiento en las variables consideradas como variables dependientes: velocidad y tiempo, por lo que está garantizada su validez con respecto a las mismas, es decir, estamos seguros de que miden lo que se pretende medir en cada caso. Además, los tests de precisión y

estabilidad de las medidas proporcionados por los fabricantes y los realizados por nosotros mismos, descritos más adelante, contribuyen a elevar la validez de dichos instrumentos y, especialmente, de lo que es lo más importante, la validez de las medidas.

- *Ejecución técnica y cumplimiento de los protocolos de evaluación*

Este aspecto se ha controlado debidamente en el momento de la realización de los tests. El efecto de aprendizaje no ha existido en los tests específicos, dada la alta práctica previa de los sujetos. Todas las sesiones de evaluación que componen este estudio se llevaron a cabo bajo la supervisión de la autora de esta tesis y del equipo de investigadores-colaboradores.

- *Situación ambiental*

Las variables situacionales se minimizaron al realizar cada sujeto los diferentes tests y sesiones de evaluación y entrenamiento siempre en horas propias y habituales de entrenamiento y en condiciones similares de temperatura y humedad y sin velocidades del viento que pudieran interferir en los resultados. Además, se controló que en el día previo a la realización de los tests no se hubiese hecho ninguna actividad física que generara alta fatiga.

### ***Evaluaciones: medidas antropométricas y tests específicos***

#### ***Medidas antropométricas***

- *Peso corporal* (kg). Se pesó a los jugadores colocándolos en posición erecta, en el centro de una báscula de precisión (Seca 710, Seca Ltd., Hamburgo, Alemania)
- *Talla* (cm). Viene determinada como la distancia entre el vértex y las plantas de los pies. Se midió con los jugadores descalzos, en bipedestación, con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro (Seca 710, Seca Ltd., Hamburgo, Alemania)
- *Envergadura* (cm). Se midió con el sujeto en bipedestación, desde la punta del dedo medio de una mano hasta la punta del dedo medio de la otra mano, con los brazos en abducción hasta la horizontal y perpendiculares al tronco. Para realizar esta medición se utilizó una cinta métrica inextensible
- *Maduración*. Se determinó usando la relación con el tiempo hasta o desde el pico de velocidad de crecimiento a través de la siguiente fórmula: madurez compensada = -



$7,999994 + (0,0036124 \times \text{edad} \times \text{talla})$ , que ofreció un  $R^2 = 0,896$ ; y error típico de estimación = 0,542) (Moore et al., 2014)

### *Tests de velocidad de golpes*

- Golpes de fondo (derecha y revés). Las pruebas de velocidad de golpeo se realizaron en una pista de tenis dura. Para los golpes de fondo, el jugador debía golpear la bola desde el fondo de la pista a la máxima velocidad posible con golpes en paralelo, disponiendo de la mitad de la pista opuesta al golpeo como zona válida para el bote de la bola. Después de un calentamiento general estándar, con carreras de unos cinco minutos y ejercicios de movilidad articular, los jugadores hicieron un calentamiento específico de golpes de derecha y revés de intensidad progresiva durante aproximadamente 15 minutos. Posteriormente realizaron cinco golpes de ensayo en las mismas condiciones en las que se realizaría inmediatamente después el test. La misma persona, anteriormente jugadora de tenis, con amplia experiencia en la enseñanza del tenis, lanzaba las bolas, a una velocidad de  $\sim 50\text{-}60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , desde la mitad de la pista opuesta a la que se encontraba el jugador, dejando libre el espacio válido para el bote de la bola una vez golpeada por el jugador. Para cada uno de los dos golpes, el objetivo de la prueba consistió en conseguir golpear 20 bolas a la máxima velocidad posible que cumplieran con el requisito de botar en la zona predeterminada. Para ello, los jugadores dispusieron de la oportunidad de golpear 30 bolas. La prueba terminaba cuando el jugador conseguía las 20 bolas “buenas” (bola que bota dentro de la zona válida para el bote) o cuando hubiera golpeado 30 bolas, tanto si había conseguido las 20 bolas “buenas” como si no. En todos los casos se contabilizaban las bolas golpeadas y las bolas “buenas”. Los sujetos se colocaban en el centro del fondo de la pista esperando el lanzamiento de la bola, y una vez golpeada, volvían de nuevo al punto de partida antes de golpear la siguiente bola. Para medir la velocidad de la bola se utilizó un radar. El técnico-colaborador encargado de medir la velocidad se colocaba unos dos metros por detrás del jugador que golpeaba la bola, manteniendo el radar a la altura aproximada del golpeo y con el eje del radar alineado en la dirección y altura de la trayectoria de la bola. Este colaborador observaba la velocidad de ejecución en la pantalla del radar y decía en voz alta su valor, mientras otro colaborador anotaba el resultado en el documento de control preparado al efecto. El test se realizó en grupos de 2-3 jugadores. Cada jugador realizaba series de 5 golpes, alternándose con los otros jugadores del grupo hasta que completaban los 30

golpes o las 20 bolas “buenas”. Si la bola era “buena”, se registraba la velocidad máxima del golpeo, en caso contrario se anotaba solamente como una bola golpeada. Para el análisis posterior, se consideró la velocidad máxima alcanzada en cada golpeo y la velocidad media de todas las bolas “buenas”.

- Golpe de saque. Después de los golpes de fondo, se realizó el test de saque. Los requisitos para la realización de esta prueba fueron los mismos que para los golpes de fondo. Naturalmente, el golpe de saque se hacía de manera específica, y la bola debía botar dentro del cuadro de saque. Previo a la realización del test, se llevó a cabo un calentamiento específico de saque de unos 10 minutos. En esta prueba se permitieron 40 golpes a cada lado del saque, con el objetivo de conseguir 20 bolas “buenas” golpeadas a la máxima velocidad posible (como “primer” saque). En este test, el técnico-colaborador encargado de medir la velocidad se colocaba sobre una plataforma de ~2 m de altura, manteniendo el eje del radar alineado con la dirección de la trayectoria de la bola. La plataforma se colocó en la posición adecuada de forma que se pudiera medir la velocidad a cada uno de los lados del saque. El test terminaba cuando el jugador conseguía las 20 bolas “buenas” o cuando hubiera golpeado 40 bolas, tanto si había conseguido las 20 bolas “buenas” como si no. El registro de los resultados de los golpes fue el mismo que en los golpes de fondo.

Para determinar si la bola era “buena” o “out”, un técnico-colaborador se colocaba cerca del espacio objetivo del bote en cada tipo de golpe.

#### *Precisión de los golpes*

- La precisión se calculó dividiendo el número de bolas “buenas” por el número total de bolas golpeadas en cada uno de los golpes. Por ello, cuanto mayor es este cociente, mayor se considera la precisión del golpeo. Por tanto, según el procedimiento del cálculo, el valor máximo de precisión posible es igual a 1.

#### *Variabilidad de la velocidad*

- La variabilidad de la velocidad de golpeo se determinó por el cálculo de la desviación típica y el coeficiente de variación del conjunto de velocidades de cada jugador en cada golpe.

### ***Instrumental de Evaluación***

- *Radar*. La velocidad de la bola post-impacto con la raqueta se midió a través de un radar (Stalker ATS II Professional Sports Radar, Plano, TX, USA), con una precisión de  $\pm 1$  mph, con rango de velocidad desde 1 a 800 mph y una frecuencia de medida de 34,7 GHz.
- El instrumental para efectuar las evaluaciones antropométricas se ha indicado en el apartado correspondiente

### ***Análisis estadístico***

Los datos se presentan a través de la media y la desviación típica de los valores de las variables. Se analizó la fiabilidad relativa de las medidas aplicando el coeficiente de correlación intraclase (CCI), y la fiabilidad absoluta por medio del error típico de medida (ETM) y su expresión en términos relativos a través del coeficiente de variación (CV). Se añade el mínimo cambio detectable (MCD), derivado del cálculo del error típico de las diferencias de medida, y cuya fórmula es:  $\sqrt{2} \cdot \text{ETM} \cdot 1,96$ . Este estadístico nos informa sobre la capacidad de las medidas para diferenciar dos valores del mismo test: cuanto menor sea el ETM (mayor fiabilidad absoluta), menor será el valor del MCD y mayor será la capacidad de resolución de las medidas. El CCI se calculó teniendo en cuenta todas las fuentes de error: error entre medidas y error de interacción sujeto-medida (Thomas y Nelson, 1996). Para ello, la fórmula aplicada fue la siguiente:  $CCI = \frac{MC_s - MC_i}{MC_s}$ , donde

$MC_s$  es la media cuadrática entre sujetos, y  $MC_i$  es la media cuadrática intra-sujeto. La  $MC_i$  también se denomina *MC de error*, e incluye las varianzas *entre medidas* y las de *interacción*, es decir, considera tanto los cambios en la media de las mediciones como los cambios individuales de los sujetos entre medidas. Al valor de CCI obtenido se le añade el intervalo de confianza del 95%. Para el cálculo de ETM hay distintos métodos, pero se ha propuesto que debe calcularse directamente sobre el término de error del análisis de varianza (Stratford y Goldsmith, 1997; Eliasziw y col., 1994), y concretamente sería igual a la raíz cuadrada del término de error. Este estadístico quedaría totalmente libre del efecto de la magnitud o rango de los valores de medida (Atkinson y Nevill, 1998). Por tanto, en nuestro caso, el ETM será el resultado de calcular la raíz cuadrada de la MC de error, es decir, de la MC intra, que incluye el error entre medidas y el error de interacción. El CV, que es la expresión del ETM en términos relativos (porcentajes), se calculó

dividiendo el ETM por la media de todas las puntuaciones y multiplicando el cociente por 100.

Dado que las medidas que hemos manejado fueron de nivel de razón y continuas, la relación entre variables se analizó con el *coeficiente de correlación bivariado de Pearson*. Pero como algunas de las variables que analizamos podrían estar relacionadas entre sí, y podría darse el caso de que la correlación entre dos de ellas solo sea aparente, y se deba a la influencia de una tercera variable que sí esté realmente relacionada con ambas, también aplicamos el cálculo de la *correlación parcial* siempre que sospechaemos que podría darse esta situación.

Para analizar la capacidad de predicción de los valores de las variables dependientes específicas (velocidades de golpeo) por el conjunto de las variables independientes, aplicamos un análisis de regresión lineal múltiple. El método utilizado para seleccionar los predictores fue el método “paso a paso” (stepwise). Se comprobó el cumplimiento de los supuestos que permiten confiar en los resultados de la regresión. En primer lugar, el *número de datos* (sujetos) supera claramente el criterio general, en el que se considera como aceptable un número total de datos igual a 10-15 veces el número de variables incluidas en el análisis (Moreu, 1999). La *linealidad* se comprobó a través de los diagramas de dispersión parcial, la *no colinealidad* a través de los valores de tolerancia (se cumple si los valores son  $>0,1$ ) y del factor de inflación de varianza (FIV), que debe ser  $<10$ ; la *independencia* entre los residuos a través del test de Durbin-Watson, que debe dar un valor próximo a 2 ( $2 \pm 0,5$ ); la *normalidad* a través de los gráficos de residuos y la prueba de Kolmogoroff-Smirnov (K-S), y la *homocedasticidad* a través de los diagramas de dispersión de los pronósticos (ZPRE) y los residuos (ZRESID) tipificados. Todos los supuestos se cumplieron con las variables incluidas en las ecuaciones de regresión. Las diferencias entre los grupos se analizaron con un ANOVA de un factor y análisis post-hoc. Para comprobar si la madurez pudiera tener alguna influencia en las diferencias de las velocidades de la bola y en la precisión, se aplicó un análisis de covarianza (ANCOVA) tomando la madurez como variable de control.

La relación entre variables se consideró significativa si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ( $p \leq 0,05$ ).

## Resultados del estudio 1

### *Características de los sujetos*

Las características de los sujetos según el nivel deportivo (ND) aparecen en la tabla 2.2

Tabla 2.2 Características físicas de los sujetos (media  $\pm$  dt)

	ND1 (n = 14)	ND2 (n = 28)	ND3 (n = 23)	ND4 (n = 10)	ND5 (n = 10)
Edad (años)	14.3 $\pm$ 1.2 ***	13.7 $\pm$ 2.6 ***	14.5 $\pm$ 1.6 ***	14.9 $\pm$ 1.6 **	18.3 $\pm$ 2.0
Talla (cm)	164.5 $\pm$ 9.4	157.9 $\pm$ 14.0 **	166.8 $\pm$ 9.8	169.6 $\pm$ 9.6	177.5 $\pm$ 6.0
PC (kg)	53.7 $\pm$ 9.7 ***	48.4 $\pm$ 12.4 ***†	57.1 $\pm$ 11.2 **	63.0 $\pm$ 12.3	73.4 $\pm$ 6.1
EVG (cm)	168.5 $\pm$ 10.1	160.0 $\pm$ 15.5 **	168.8 $\pm$ 10.6	173.1 $\pm$ 11.6	188.6 $\pm$ 8.3
Madurez	0.55 $\pm$ 1.09 ***†	-0.05 $\pm$ 2.12 ***†	0.79 $\pm$ 1.38 ***	1.18 $\pm$ 1.49 **	3.72 $\pm$ 1.06
PTA (%)	93.0 $\pm$ 4.0 ***	89.9 $\pm$ 7.3 ***	93.4 $\pm$ 4.6 ***	94.6 $\pm$ 4.4 ***	99.6 $\pm$ 0.4
Ranking Nacional	6423.9 $\pm$ 433.8	1838.2 $\pm$ 797.1	901.1 $\pm$ 185.0	376.7 $\pm$ 189.5	102.1 $\pm$ 32.5
Competiciones	5.5 $\pm$ 2.0	10.5 $\pm$ 1.2	16.4 $\pm$ 1.1	22.7 $\pm$ 1.7	28.7 $\pm$ 1.4

ND: nivel deportivo; PC: peso corporal; PTA: predicción de la talla adulta; Competiciones: número de competiciones al año. Diferencias estadísticamente significativas con respecto al ND\_5: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Diferencias estadísticamente significativas con respecto al ND\_4: †  $p < 0.05$ . La variable Ranking Nacional aumenta de manera progresiva ( $p < 0.001$ ) desde ND1 a ND5.

### *Fiabilidad de la velocidad de la bola en los distintos golpes*

La fiabilidad de la velocidad de la bola se valoró tomando las cinco primeras y las cinco últimas ejecuciones de cada sujeto en los tests de cada uno de los golpes. No se observaron diferencias significativas entre ambos grupos de medidas. La fiabilidad de la velocidad de la bola fue elevada para los tres tipos de golpes (tabla 2.3). Aunque todos los datos estadísticos que representan mejor fiabilidad: mayor coeficiente de correlación intraclase (CCI) y menor coeficiente de variación (CV), tendieron a ser más favorables en el saque que en los golpes de derecha y de revés. La fiabilidad para cada ND en la misma variable fue similar. El rango de coeficientes de variación, como indicador de la fiabilidad absoluta o fiabilidad intra-sujetos, fueron moderados o bajos. Para el saque: de 3,8 a 7,8% para las cinco primeras bolas y de 4,42 a 5,98% para las cinco últimas; 4,7 a 7,8% y 5,6 a 11,4% para las cinco primeras y cinco últimas bolas, respectivamente, en el golpe de derecha; y 5,39 a 9,22% y 6,6 a 8,1% para las cinco primeras y cinco últimas bolas, respectivamente, en el golpe de revés. También en este análisis el menor CV tendió a darse en el ND\_5.

Tabla 2.3 Fiabilidad de las medidas de velocidad en los tres golpes: saque, derecha y revés.

	CCI (IC: 95%)	ETM (km/h)	CV (%)	MCD (km/h)	Media (km/h)	MCD (%)
Saque						
P_5_G	0.98 (0.97-0.99)	6.40	4.50	17.73	140.96	12.58
U_5_G	0.98 (0.97-0.99)	6.17	4.37	17.10	141.27	12.10
Derecha						
P_5_G	0.92 (0.89-0.95)	7.50	6.36	10.60	118.44	17.55
U_5_G	0.90 (0.87-0.93)	8.90	7.30	24.67	122.07	20.21
Revés						
P_5_G	0.91 (0.88-0.94)	7.10	6.30	19.68	112.18	17.58
U_5_G	0.92 (0.89-0.94)	7.50	6.67	20.79	112.60	18.46

CCI = coeficiente de correlación intraclase; ETM = error típico de medida; CV = coeficiente de variación; MCD = mínimo cambio detectable ( $\sqrt{2} \cdot \text{ETM} \cdot 1,96$ ); MCD (%) = porcentaje que representa el MCD sobre la media; P\_5\_G = primeros 5 golpes de cada test; U\_5\_G = últimos 5 golpes de cada test.

### *Velocidad media de la bola y precisión en el golpeo según el nivel deportivo*

La prueba de ANCOVA, tomando la madurez como covariable, mostró un efecto significativo como tal covariable ( $p < 0,05$ ) sobre la velocidad de la bola, pero el ND siguió presentado un efecto significativo en todos los golpes:  $F = 6,73$ ,  $p < 0,001$ ;  $F = 5,93$ ,  $p < 0,001$  y  $F = 8,37$ ,  $p < 0,001$  para el saque, el golpe de derecha y el de revés, respectivamente. En la table 2.4 se muestran los datos relacionados con el rendimiento en velocidad en los golpes de saque, derecha y revés, así como la precisión de los golpes. La velocidad de golpeo aumenta de manera progresiva desde el ND\_1 al ND\_5, observándose diferencias significativas en 17 comparaciones (figura 2.1), mientras que no ocurre así con respecto a la precisión, dándose solamente dos diferencias significativas de las 30 posibles (figura 2.2). Además, la relación entre las velocidades medias y máximas en los tres golpes y la precisión en cada uno de ellos resultó ser nula en todos los casos. La velocidad de golpeo de derecha ( $119,91 \pm 12,06 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) fue superior ( $p < 0,001$ ) a la del revés ( $112,51 \pm 10,9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) en el conjunto de jugadores, así como por niveles ( $p < 0,001$  para los ND 1, 2, 3 y 5; y  $p < 0,05$  para el grupo 4) y por edad ( $p < 0,001$  para los ND 1, 2, 3 y 5; y  $p < 0,01$  para el grupo 4).

Tabla 2.4 Velocidad media de la bola y precisión en el golpeo según el nivel deportivo (media  $\pm$  dt)

	ND1 (n = 14)	ND2 (n = 28)	ND3 (n = 23)	ND4 (n = 10)	ND5 (n = 10)
VB_S (km/h)	128.3 $\pm$ 15.5	133.2 $\pm$ 17.2	139.9 $\pm$ 17.2	151.6 $\pm$ 17.9	171.3 $\pm$ 9.4
VB_D (km/h)	112.1 $\pm$ 8.1	115.2 $\pm$ 9.8	120.0 $\pm$ 9.6	125.0 $\pm$ 11.8	138.7 $\pm$ 4.6
VB_R (km/h)	103.6 $\pm$ 8.0	108.7 $\pm$ 9.3	112.7 $\pm$ 7.5	119.1 $\pm$ 10.2	128.7 $\pm$ 3.5
Precisión_S	0.36 $\pm$ 0.08	0.43 $\pm$ 0.13	0.48 $\pm$ 0.10	0.43 $\pm$ 0.12	0.50 $\pm$ 0.12
Precisión_D	0.62 $\pm$ 0.11	0.68 $\pm$ 0.09	0.68 $\pm$ 0.12	0.65 $\pm$ 0.12	0.71 $\pm$ 0.05
Precisión_R	0.58 $\pm$ 0.13	0.66 $\pm$ 0.10	0.69 $\pm$ 0.11	0.67 $\pm$ 0.08	0.69 $\pm$ 0.06

ND = nivel deportivo; VB\_S = velocidad de la bola en el saque; VB\_D = velocidad de la bola en el golpe de derecha; VB\_R = velocidad de la bola en el golpe de revés

La prueba de ANCOVA mostró que el estado de maduración no tuvo efecto como covariable sobre la precisión:  $F = 0.026$ ,  $p = 0.87$ ;  $F = 3.143$ ,  $p = 0.08$  y  $F = 0.994$ ,  $p = 0.32$  para el saque, el golpe de derecha y el de revés, respectivamente.

En las figuras 2.1 y 2.2 se indican las diferencias en las velocidades medias de golpeo y en la precisión, respectivamente.



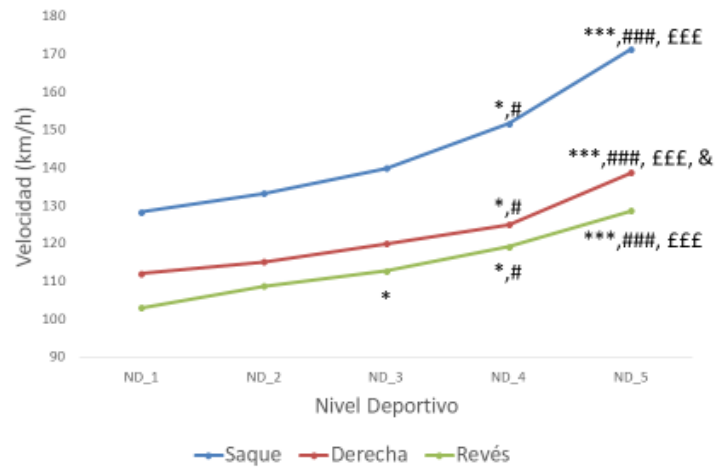


Figura 2.1 Velocidades medias en cada golpeo según niveles deportivos.

\* = diferencias con respecto al ND\_1: \*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

# = diferencias con respecto al ND\_2: #  $p < 0,05$ ; ###  $p < 0,001$

£ = diferencias con respecto al ND\_3: £££  $p < 0,001$

& = diferencias con respecto al ND\_4: &  $p < 0,05$

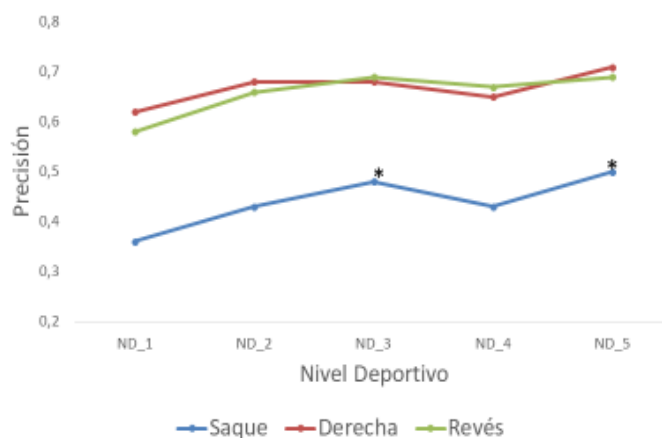


Figura 2.2 Precisión en cada golpeo según niveles deportivos.

\*= diferencias con respecto al ND\_1: \*  $p < 0,05$ .

***Correlaciones entre la velocidad media de golpeo y diferentes variables antropométricas y el ND, y correlación entre las mismas variables al aplicar la correlación parcial controlando el resto de las variables en los tres golpes: saque, derecha y revés***

Se observaron correlaciones significativas entre la velocidad media de la bola en los tres golpes y la edad, el ND, el peso corporal, la altura y la envergadura (tabla 2.5). No obstante, cuando las correlaciones de estas variables con la velocidad fueron controladas por el resto de las variables en su conjunto a través de la aplicación de una correlación parcial, los valores de las correlaciones se redujeron de manera considerable, y únicamente la variable ND mantuvo correlaciones significativas ( $p < 0,001$  en todos los casos) en los tres golpes. Además, esta variable fue la que experimentó una menor pérdida de varianza explicada.

Las relaciones entre las variables mencionadas y la velocidad máxima con cada golpe fueron similares, así como la pérdida de varianza explicada, excepto para la variable ND, la cual experimentó una reducción de la varianza explicada muy inferior a la que se dio

en la velocidad media, con valores del 15, 12 y 10% en el saque, la derecha y el revés, respectivamente.

Tabla 2.5 Coeficientes de correlación de Pearson entre la velocidad media de golpeo y diferentes variables y la correlación entre las mismas variables al aplicar la correlación parcial controlando el resto de las variables en los tres golpes: saque, derecha y revés.

	Saque			Derecha			Revés		
	r	r <sub>parcial</sub>	PVE (%)	r	r <sub>parcial</sub>	PVE (%)	r	r <sub>parcial</sub>	PVE (%)
Edad	0.79***	0.35***	81.0	0.69***	0.23*	89.5	0.62***	0.16	94.7
ND	0.59***	0.39***	57.1	0.63***	0.44***	52.5	0.66***	0.51***	39.5
PC	0.85***	0.39***	79.1	0.71***	0.10	98.0	0.66***	0.08	100
Altura	0.78***	0.13	91.7	0.68***	0.11	97.1	0.60***	0.03	99.7
EVD	0.76***	0.10	100.	0.66***	0.02	100	0.61***	0.10	100

r = correlación de Pearson; r<sub>parcial</sub> = correlación parcial; PVE = pérdida de varianza explicada controlando el resto de las variables; ND = nivel deportivo; PC = peso corporal; EVD = envergadura. \*: p < 0.05; \*\*\*: p < 0.001.

### *Varianza explicada de la velocidad de los tres golpes a través del análisis lineal de regresión múltiple*

Para conocer la varianza explicada de las velocidades medias y máximas de los tres golpes, se aplicó un análisis lineal de regresión múltiple con el método paso a paso, tomando como variables predictoras la edad, el ND, el peso corporal, la altura y la envergadura de manera conjunta (tabla 2.6). La varianza explicada ( $R^2$ ) fue ligeramente superior para la velocidad máxima que para la velocidad media en los tres golpes, y además se observó una tendencia a ser mayor en el saque que en la derecha y el revés. El ND fue la única variable que apareció incluida en todas las ecuaciones de regresión.

Tabla 2.6 Datos estadísticos del análisis de regresión lineal múltiple a través del método paso a paso con las velocidades medias y máximas como variables dependientes en los tres golpes.

<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Ecuación</b>	<b>CT</b>	<b>Toler.</b>	<b>FIV</b>	<b>K-S</b>
Variable dependiente: velocidad media de la bola en el saque						
0,793	1,69	0,77PC + 3,77ND + 0,73edad + 47,7	PC: 0,50 ND: 0,22 Edad: 0,30	0,358 0,771 0,380	2,79 1,30 2,57	P=0,853
Variable dependiente: velocidad media de la bola en el golpe de derecha						
0,625	2,07	0,29PC + 3,29ND + 1,45edad + 73,37	PC: 0,32 ND: 0,33 Edad: 0,28	0,354 0,748 0,380	2,825 1,337 2,633	p=0,969
Variable dependiente: velocidad media de la bola en el golpe de revés						
0,577	1,91	0,36PC + 3,96ND + 81,53	PC: 0,44 ND: 0,44	0,754 0,754	1,326 1,326	p=0,653
Variable dependiente: velocidad máxima de la bola en el saque						
0,814	1,9	0,76PC + 4,4ND + 2,37edad + 60,2	PC: 0,51 ND: 0,26 Edad: 0,28	0,358 0,771 0,389	2,79 1,30 2,57	p=0,895
Variable dependiente: velocidad máxima de la bola en el golpe de derecha						
0,728	1,9	4,23ND + 1,69edad + 0,34EVD + 36,6	ND: 0,39 Edad: 0,30 EVD: 0,35	0,804 0,403 0,429	1,243 2,481 2,332	p=0,86

Variable dependiente: velocidad máxima de la bola en el golpe de revés						
0,656	2,2	4,96ND + 0,37EVD + 47,65	ND: 0,521	0,86	1,162	p=0,66
			EVD: 0,455	0,86	1,162	

R<sup>2</sup> = varianza explicada a través de la regresión; DW = Test de independencia de Durbin-Watson para detectar la presencia de autocorrelación en los residuos; CT = coeficientes tipificados; Toler = tolerancia; FIV = factor de inflación de la varianza; K-S = test de Kolmogorov-Smirnov para comprobar el ajuste a la normalidad; PC = peso corporal; ND = nivel deportivo; EVD = envergadura.

Los supuestos del modelo de regresión se cumplieron satisfactoriamente. Todos los valores del test de independencia de Durbin-Watson (DW), el cual detecta la presencia de autocorrelación en los residuos de la regresión, fueron próximos a 2, valor considerado adecuado como indicador de independencia. De la misma manera, todos los valores de tolerancia fueron superiores a 0,1 y el factor de inflación de la varianza (FIV) inferior a 10. En todos los casos las variables dependientes se ajustaron a la normalidad (columna K-S de la tabla 2.6). La homocedasticidad fue analizada a través del gráfico obtenido al confrontar los valores pronosticados tipificados (ZPRED) con los valores de los residuos tipificados (ZRESID). En todos los casos, la variabilidad de los residuos tipificados fue homogénea o uniforme en todo el rango de los valores pronosticados tipificados. Como ejemplos, en la figura 2.3 se muestran los gráficos correspondientes al máximo valor de R<sup>2</sup>, que corresponde a la máxima velocidad de la bola en el saque, y al mínimo valor de R<sup>2</sup>, que corresponde a la velocidad media de la bola en el revés.

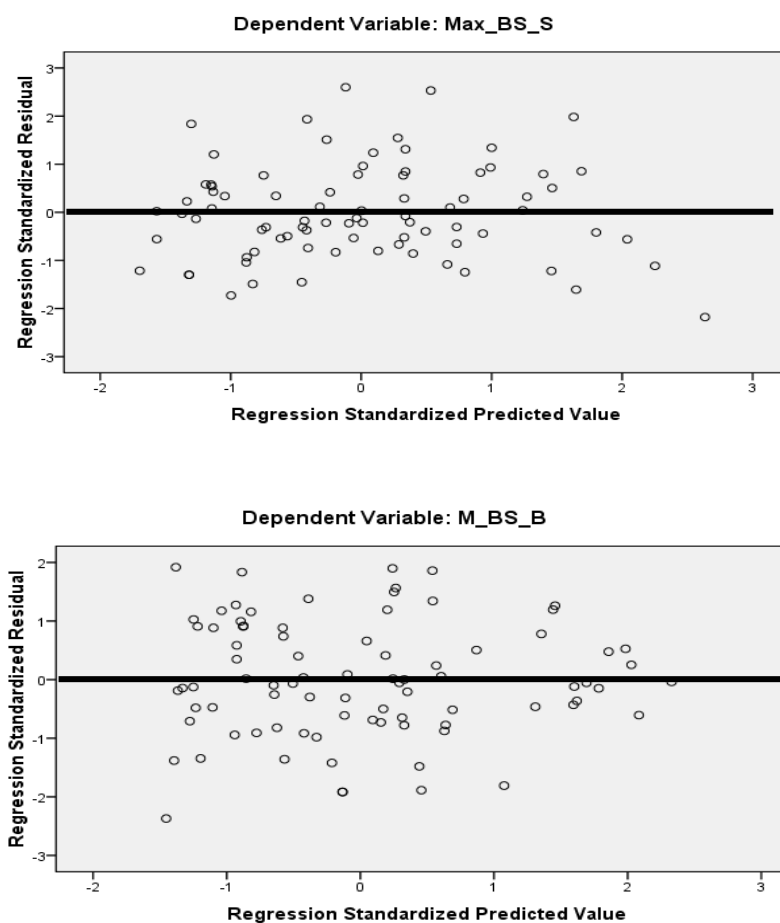


Figura 2.3 Variabilidad de los residuos tipificados a través del rango de los valores pronosticados tipificados. Se observa que la variabilidad de los residuos tipificados es homogénea a través del rango de los valores pronosticados tipificados. Datos correspondientes al  $R^2$  más elevado: 0,814 (imagen superior: velocidad máxima en el saque) y al menor  $R^2$ : 0,577 (imagen inferior: velocidad media en el revés).

### *Variabilidad en la velocidad de golpeo*

Cuanto mayor fue la velocidad del golpeo para cada sujeto, menor tendió a ser la variabilidad de la propia velocidad. Las relaciones entre la velocidad de la bola y su propio coeficiente de variación fueron negativas y significativas en todos los golpes: -0.5 ( $p < 0.001$ ), -0.25 ( $p < 0.05$ ), -0.41 ( $p < 0.001$ ), para el saque, la derecha y el revés, respectivamente. El coeficiente de variación fue menor para el ND\_5 que para el ND\_3 y el ND\_1 ( $p < 0,05$ ) en el saque, y en los niveles deportivos 5, 3 y 2 frente al ND\_1 ( $p < 0,05$ ) en el golpe de derecha, aunque no hubo diferencias significativas en el golpe de revés.

## Discusión del estudio 1

En este estudio comparamos la velocidad de la bola y la precisión en los golpes en jugadores de tenis jóvenes de diferentes niveles deportivos, y analizamos la capacidad de predecir la velocidad de la bola en los golpes de fondo y en el saque de las variables edad, ND, PC, talla y EVG. Los principales hallazgos del presente estudio fueron los siguientes: 1) la fiabilidad de la velocidad de golpeo fue elevada para los tres tipos de golpes y similar para cada uno de los ND, con una tendencia a ser mejor en el servicio comparado con los golpes de derecha y de revés; 2) la velocidad de la bola aumentó progresivamente desde el ND\_1 al ND\_5 en todos los golpes, pero no se dio la misma tendencia en la precisión; 3) todas las variables (edad, ND, PC, talla y EVG) mostraron correlación significativa de orden cero con la velocidad de la bola en todos los golpes, pero al aplicar la correlación parcial a cada una de estas correlaciones con el control del resto de variables, los valores de las correlaciones decrecieron sustancialmente; 4) algunas de las anteriores variables mencionadas explicaron un notable porcentaje de la varianza (desde el 57,7 al 81,4%) de la velocidad media y máxima de los tres golpes cuando se aplicó la regresión lineal múltiple; 5) cuanto mayor fue la velocidad del golpeo de cada sujeto, menor tendió a ser su propia variabilidad, expresada a través del coeficiente de variación; 6) el control de los resultados a través de la utilización de la madurez biológica como covariable no modificó los resultados.

### *Fiabilidad*

La fiabilidad de la velocidad fue alta para los tres tipos de golpes (tabla 2.3). Estos datos fueron similares a los datos ofrecidos por Kramer et al. (2017) (CCI: 0.87 - 0.99) y superiores a los encontrados por Bonato et al. (2015), cuyos valores de CCI fueron de 0,748 (IC\_95%: 0,149-0,945) y Vergauwen et al. (2004), aunque estos autores no ofrecen valores de CV, que son los más relevantes en este tipo de estudios. Además, todos nuestros datos estadísticos tienden a ser mejores en el saque comparados con los de los golpes de derecha y de revés. Estas diferencias podrían ser relevantes, dado que el servicio es considerado el golpe de mayor dificultad técnica. Esta tendencia podría venir explicada por la mayor estabilidad en la posición y en la velocidad de la bola antes de golpearla cuando se realiza el saque que en los golpes de derecha y revés, ya que en el saque es el propio jugador el que coloca la bola en la altura y posición adecuadas, mientras que en los golpes de fondo los jugadores tienen que adaptar el golpe a la altura y a la velocidad



a la que se aproxima la bola. La fiabilidad para cada ND fue similar, con el CV más bajo en el ND\_5 en todos los casos, indicando una tendencia a mejor fiabilidad intra-sujeto cuanto mayor es el nivel deportivo. Los valores semejantes de fiabilidad en los 5 primeros y en los 5 últimos golpes y de velocidad media entre ambos grupos de golpes (tabla 2.3) sugieren que la realización del test no supuso fatiga apreciable, lo cual habría podido provocar cambios en el rendimiento y en la estabilidad del golpeo (Lyons et al., 2013). Es importante también resaltar que la fiabilidad, relativa y absoluta, mantuvo valores notablemente buenos cuando esta se analizó por niveles deportivos. Por tanto, la alta fiabilidad general de la velocidad en todos los golpes de manera global y por ND sugiere que podemos tener una confianza considerable en el resto de los resultados de estos estudios.

### ***Diferencias en la precisión entre los niveles deportivos***

Una mayor precisión en nuestro estudio significa que el jugador necesita menor número de golpes para alcanzar las 20 bolas “buenas” (bolas que botan en la superficie predeterminada). Partimos de la premisa de que el jugador, siguiendo las instrucciones, siempre golpeaba la bola tan fuerte como le era posible, pero procurando alcanzar la máxima precisión, es decir, procurando que la bola botara en el espacio previsto para cada tipo de golpe. Sin embargo, los resultados indican que si bien la velocidad de la bola mostró una clara tendencia a aumentar a medida que aumentaba el ND (figura 2.1), esto no ocurría con la precisión de los golpes (tabla 2.4). Solamente los grupos ND\_5 y ND\_3 mostraron una mayor precisión que el ND\_1 en el servicio, y no se observaron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los dos golpes de fondo (figura 2.2). Esta tendencia ha sido observada previamente en el servicio (Cauraugh et al., 1990; Bower y Cross, 2008), no encontrando disminución de la precisión cuando aumentaba la velocidad de la bola, y también en los golpes de fondo (Landlinger et al., 2012), observándose que la velocidad en estos golpes fue más alta para los jugadores de elite en comparación con los de nivel inmediatamente inferior (“alto rendimiento”), aunque todos los participantes en el estudio mostraron similar habilidad en términos de precisión. En algún estudio se ha observado que la precisión mejoraba de manera significativa con el nivel deportivo (Vergauwen et al., 2004), pero estos valores de precisión se han obtenido con CCI muy bajos por niveles deportivos (0,41; 0,57), lo que ha podido influir en los resultados. Algo semejante se observó en el estudio de Kolman et al. (2017), pero también con escasa o nula fiabilidad en las medidas (CCI = 0,73 y con IC\_95% = -0,02; 0,93). Es razonable

admitir que con una velocidad no máxima para el sujeto, aumente la probabilidad de no cometer errores, debido, entre otras razones, a la mayor influencia / mayor tiempo de la gravedad para hacer descender la bola en su recorrido y aumentar así el ángulo favorable para el bote de la bola, especialmente en el saque (Brody, 2006), pero al mismo tiempo, la reducción de la velocidad está facilitando la devolución de la bola por parte del contrario, lo cual, naturalmente, puede ser muy negativo para el resultado del juego. Según nuestros datos, es probable que con el aumento del nivel deportivo, la estabilidad técnica sirva para contrarrestar los “efectos negativos” y el riesgo que supone golpear a una mayor velocidad. En este sentido debemos reseñar que, en nuestro estudio, la valoración de la precisión se hizo con golpes que no se devolvían en la misma dirección que se recibían, lo cual tiende a reducir la probabilidad de error (Brody, 2006), sino con cambio de dirección (desde golpe cruzado a paralelo), lo cual sí le da mayor confianza a los datos, al ser un golpe de más riesgo y, por ello, ofrecer mayor probabilidad de discriminar entre jugadores de distinto nivel. La aplicación del ANCOVA, con la maduración como covariable, en el análisis de la precisión no presentó ningún valor significativo en su función como covariable, lo cual significa que la maduración no tuvo influencia en el análisis, y por tanto no modificó los resultados de la comparación de los valores de precisión entre los ND. Por tanto, los resultados de nuestro estudio sugieren que la progresión en la excelencia en el tenis depende en gran medida del aumento de la velocidad de la bola, con una relativa estabilidad de la precisión, especialmente en los golpes de derecha y de revés.

### ***Correlación entre edad, ND, PC, talla y EVG y la velocidad de la bola***

Se observaron correlaciones significativas entre la velocidad media de los tres golpes y la edad, ND, PC, talla y EVG (tabla 2.5). Aunque, en línea con nuestros resultados, en estudios previos (Bonato et al., 2015; Cross and Pollard, 2009; Landlinger et al., 2012; Vaverka and Cernosek, 2013) también se ha observado un efecto positivo de la talla y la envergadura sobre la velocidad de la bola en el saque, los valores de estas correlaciones podrían llevar a la errónea conclusión de que todas estas variables son de manera independiente muy importantes en el rendimiento del jugador de tenis. No obstante, el análisis de la correlación parcial muestra que, en algunos casos, estas relaciones bivariadas están determinadas en gran parte por otras variables. En el servicio, después de aplicar las correlaciones parciales, solamente la edad, el ND y el PC mantienen una relación significativa ( $p < 0,001$ ), pero con una pérdida de varianza explicada que osciló

entre el 57 y el 81%. En el golpe de derecha, la edad ( $p < 0,05$ ) y el ND ( $p < 0,001$ ) mantuvieron una correlación significativa, y en el golpe de revés, solamente el ND mantuvo una correlación significativa ( $p < 0,001$ ). Las correlaciones parciales del resto de las variables con las velocidades de los tres golpes mostraron valores próximos a cero. Por tanto, solamente el ND mantuvo una correlación significativa con la velocidad de la bola en los tres golpes una vez eliminadas las influencias del resto de las variables. Estos resultados están de acuerdo con la sugerencia previa de que la progresión hacia la excelencia en el tenis es en gran medida dependiente de la capacidad de aumentar la velocidad de la bola, ya que solamente el ND muestra una relación significativa con la velocidad de la bola en los tres golpes de manera independiente del resto de variables, y, por tanto, con la menor pérdida de varianza explicada comparado con el resto de las variables. Esta tendencia se vio reforzada cuando analizamos las relaciones entre la velocidad máxima de la bola y las variables mencionadas anteriormente. En este caso, todas las variables mostraron un descenso similar de la varianza explicada que con la velocidad media, excepto el ND, el cual mostró una reducción de la varianza explicada mucho menor que el resto en el servicio (15%), el golpe de derecha (12%) y el de revés (10%). Estos resultados sugieren que se debe tener prudencia al considerar qué variables son importantes en el rendimiento en tenis. Por ejemplo, se ha propuesto que la talla explica la variabilidad en el saque (Cross and Pollard, 2009; Vaverka and Cernosek, 2013; Bonato et al., 2015; Ulbricht et al., 2016) y en los golpes de derecha (Knudson and Bahamonde, 1999; Landlinger et al., 2012), pero estos resultados se obtuvieron sin el control de ninguna otra variable. Nuestros resultados sugieren que cuando intentemos explicar el rendimiento en tenis, deberíamos considerar la posibilidad de encontrarnos correlaciones espurias si no controlamos otras determinadas variables.

### ***Varianza explicada de la velocidad de la bola a través de análisis de regresión lineal múltiple***

Los resultados de este análisis refuerzan los obtenidos al aplicar las correlaciones parciales. La varianza explicada ( $R^2$ , tabla 2.6) fue ligeramente superior para la velocidad máxima que para la media en los tres golpes, con una tendencia a ser superior en el saque que en los golpes de fondo. La mayor varianza explicada en el saque puede estar relacionada con la mayor estabilidad de la velocidad en este golpe. En este caso, las tres variables que entraron en la ecuación para explicar la velocidad media y la máxima fueron las mismas (PC, ND, edad), y se corresponden con las tres variables que presentaron

mayor independencia cuando se aplicó la correlación parcial (tabla 2.5). Inicialmente, podría resultar una sorpresa que la talla no aparezca en la ecuación de predicción de este golpe ni en los golpes de fondo. No obstante, esto no significa que la talla sea irrelevante para los diferentes golpes, y especialmente para el saque, sino que esta variable tiene menos efecto (menor poder predictivo) sobre la velocidad de la bola en comparación con las otras variables que entran en la ecuación cuando todas ellas se consideran conjuntamente como variables predictoras. La ausencia de la variable talla en las ecuaciones puede ser explicada por su fuerte relación con el PC ( $r = 0,88$ ;  $p < 0,001$ ), lo cual podría indicar que el PC explica casi la totalidad de la varianza que podría ser atribuida a la talla. Con el fin de comprobar esta hipótesis, analizamos la posible contribución de la talla a la explicación de la varianza de la velocidad máxima de la bola en el saque. Para ello, hicimos un nuevo análisis eliminando el PC como variable predictora, y encontramos que en este caso la talla sí entró en la ecuación, junto con el ND y la edad, pero con menor varianza total explicada (78,5%) y un menor coeficiente tipificado (0,399) para la variable talla que cuando el PC estaba en la ecuación (81,7% de varianza explicada y 0,51 de coeficiente tipificado para el PC). Este análisis alternativo sugiere que el PC, dentro de la serie de variables analizadas, tiene mayor poder predictivo que la talla. Una explicación similar se podría aplicar al hecho de que la EVG solamente aparezca como una variable predictora para la velocidad máxima en el golpe de derecha y de revés, pero no en el saque, lo cual está de acuerdo con estudios previos (Perry et al., 2004). Por el contrario, el ND es la única variable que aparece en todas las ecuaciones de regresión, lo cual viene a confirmar la sugerencia de que el ND es la variable con mayor capacidad de explicación de la velocidad de la bola de manera independiente. Por último, el golpe de revés parece ser el golpe más complejo de explicar, ya que su varianza es explicada en menor medida y el número de variables que entran en la ecuación es el menor de los tres golpes.

### ***La velocidad de la bola y su variabilidad***

Todos los golpes mostraron una relación significativa y negativa [desde -0.25 ( $p < 0.05$ ) a -0.5 ( $p < 0.001$ )] entre la velocidad y su propio coeficiente de variación. Esta tendencia significa que el aumento de la velocidad de la bola viene acompañado de un aumento de la estabilidad de la propia velocidad de golpeo, es decir, de menor dispersión en los valores de las velocidades. Por tanto, podríamos sugerir que el ND y el rendimiento en tenis no son solamente dependientes de la velocidad de golpeo, sino también de una

mayor estabilidad de la velocidad de la bola en cada golpe. De acuerdo con el significado de estas correlaciones, cuando la velocidad del golpeo aumenta, su variabilidad ha de tender a disminuir. Esto se confirma al observar que los coeficientes de variación no solamente son menores en términos absolutos a medida que aumenta el ND, sino que algunos de estos coeficientes son estadísticamente menores: ND\_5 muestra menor coeficiente de variación que ND\_3 y ND\_1 ( $p < 0,05$ ) en el saque, y ND\_5, ND\_3 y ND\_2 tienen coeficientes de variación más bajos que ND\_1 ( $< 0,05$ ) en el golpe de derecha.

Los resultados del presente estudio permiten confirmar parcialmente nuestra primera hipótesis, ya que la velocidad de golpeo tiende a aumentar a medida que mejora el nivel deportivo, pero no se observa el mismo comportamiento con la precisión. La fiabilidad de las medidas es muy semejante en todos los niveles deportivos, por lo que la segunda hipótesis solo se confirma parcialmente, pero la desviación de lo propuesto supone una mejora de la fiabilidad de las medidas, es decir, un resultado mejor del esperado, ya que los valores de fiabilidad son altos en todos los casos. Sin embargo, la fiabilidad tiende a ser algo superior en el saque con respecto a los golpes de fondo, por lo que se confirma la tercera hipótesis según lo esperado. De la misma manera, la cuarta hipótesis se confirma plenamente, ya que todas las variables reducen su poder explicativo cuando se controla el resto de las variables y no todas entran en la ecuación de regresión lineal múltiple.

## Conclusiones del Estudio 1

En jugadores de tenis de edades comprendidas entre 13 y 18 años

- La vía hacia la excelencia en el rendimiento en tenis es en gran medida dependiente del aumento de la velocidad de la bola mientras se mantiene relativamente estable la precisión en el golpeo, especialmente en los golpes de derecha y de revés
- El aumento significativo de la velocidad de golpeo a medida que aumenta el ND se mantiene incluso controlando la variable madurez: podríamos decir que el nivel deportivo aumenta si aumenta la velocidad de golpeo de la bola
- Al considerar conjuntamente como variables independientes la talla, el PC, la EVG, la edad y el ND en la aplicación de una regresión lineal múltiple, la talla no aparece como una variable predictora de la velocidad de la bola
- El ND es la variable con una mayor relación independiente con la velocidad de la bola en los tres golpes
- Cuanto mayor es la velocidad del golpeo, menor tiende a ser su propio coeficiente de variación.

**Aplicaciones prácticas del Estudio 1**

Nuestros resultados sugieren que cuando intentemos explicar el rendimiento en el tenis a través del análisis de las correlaciones entre determinadas variables supuestamente predictoras y el rendimiento específico, deberíamos aplicar las adecuadas correlaciones parciales para evitar en la medida de lo posible la aceptación de correlaciones espurias. En jóvenes tenistas, el objetivo más importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje del tenis debería ser incrementar la velocidad de la bola como prioridad en comparación con la precisión de los golpes.



## Limitaciones del Estudio 1

Algunas cuestiones podrían considerarse aparentemente como una limitación del estudio, cuando realmente no lo son. Por eso incluimos en este apartado las que son limitaciones aparentes, y justificamos por qué lo son a nuestro entender, y las que realmente son limitaciones.

Por ejemplo, las distintas características de las raquetas, como el material con el que estuvieran construidas, el peso, las dimensiones de la raqueta y la empuñadura, la tensión de las cuerdas..., podrían entenderse como un factor determinante de la velocidad de la bola, pero es razonable aceptar que el mejor rendimiento de cualquier jugador siempre lo va a obtener con la raqueta habitual de juego, y no con una raqueta estándar “que no conozca” ni que necesariamente se adapte a sus características. Por ello entendemos que realizar las pruebas con la raqueta habitual de cada jugador garantiza en mayor medida el mejor rendimiento que la alternativa de utilizar la misma raqueta para todos los sujetos, que, por otra parte, sería inviable desde el punto de vista práctico.

Se podría considerar que al utilizar una máquina de lanzar bolas, la velocidad de la bola y, probablemente, la trayectoria de la misma serían más estables y permitiría a todos los sujetos golpear en condiciones de altura y velocidad más semejantes. Esto es cierto, pero nos planteamos la pregunta de si en esta situación la valoración de la capacidad de golpeo de los sujetos sería menos específica que si la bola, dentro de cierto rango de velocidades, presenta en cada golpeo la necesidad de adaptar el golpe a velocidades y trayectorias ligeramente distintas unas de otras. Por tanto, con nuestro procedimiento, es probable que se consiga una valoración de la capacidad de golpeo que se aproxime más a la realidad del juego que lanzando siempre las bolas con una velocidad y trayectoria muy predecibles por parte del jugador.

Entendemos como verdadera limitación del estudio que las velocidades a las que recibía el jugador las bolas fueran unas concretas: en este caso entre 50 y 60 km·h<sup>-1</sup>. Es probable que si las velocidades hubieran sido superiores, las respuestas de los jugadores hubieran sido distintas, pudiendo diferenciar, quizás en mayor medida, a los jugadores según el ND. Por tanto, los resultados de nuestro estudio solamente deben generalizarse al rango de velocidades de lanzamiento de bolas utilizado, así como, naturalmente, a las características de los jugadores del estudio. Esto nos invita a proponer que en futuros

estudios las velocidades de lanzamiento de las bolas, con máquinas o sin ellas, sean suficientemente distintas como para aumentar la probabilidad de discriminar en la mayor medida posible entre niveles deportivos distintos, y poder determinar la influencia de la velocidad de la bola recibida.

Otra posible característica del diseño que quedaría pendiente de mejorar sería la determinación de la zona válida para estimar la precisión de los golpes. Es probable que reduciendo la zona en la que la bola debería botar, por ejemplo, considerar solo el cuadro de fondo que formaría la prolongación de la línea longitudinal de medio campo y la línea de saque de cada lado de la pista, se pudiera obtener información más precisa y discriminadora de la capacidad de precisión del golpeo.

**Bibliografía Estudio 1**

Atkinson, G, & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med*, 26, 217-238.

Bonato, M., Maggioni, M. A., Rossi, C., Rampichini, S., La Torre, A., & Merati, G. (2015). Relationship between anthropometric or functional characteristics and maximal serve velocity in professional tennis players. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(10), 1157-1165.

Bower R, Cross R. (2008). Elite tennis player sensitivity to changes in string tension and the effect on resulting ball dynamics. *Sports Engineering*, 11(1), 31-36.

Brody, H. (2006). Cross-Court versus down-the-line. *Journal of Medicine and Science in Tennis*, 11, 26.

Cauraugh, J. H., Gabert, T. E., & White, J. J. (1990). Tennis serving velocity and accuracy. *Perceptual and Motor Skills*, 70, 719-722.

Cross, R., & Pollard, G. (2009). Grand Slam men's singles tennis 1991-2009. Serve speeds and other related data. *ITF Coaching and Sport Science Review*, 16(49), 8-10.

Eliasziw, M., Young, S.L., Woodbury, M.G. y Fryday-Field, K. (1994) Statistical methodology for the concurrent assessment of interrater and intrarater reliability: using goniometric measurements as an example. *Physical Therapy*. 74(8): 777-788.

Knudson, D., & Bahamonde, R. (1999). Trunk and racket kinematics at impact in the open and square stance tennis forehand. *Biology of Sport*, (16)1: 3-10.

Kolman, N., Huijgen, B., Kramer, T., Elferink-Gemser, M., & Visscher, C. (2017). The dutch technical-tactical tennis test (d4t) for talent identification and development: Psychometric characteristics. *Journal of Human Kinetics*, 55, 127-138.

Kramer, T., Huijgen, B. C. H., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2017). Prediction of Tennis Performance in Junior Elite Tennis Players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 16, 14-21.

Kramer, T., Valente-Dos-Santos, J., Malina, R. M., Huijgen, B.C.H., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2016). Modeling Longitudinal Changes in 5m Sprinting Performance Among Young Male Tennis Players. *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 2, 122(1), 299–318.

Landlinger, J., Stöggel, T., Lindinger, S., Wagner, H., & Müller, E. (2012). Differences in ball speed and accuracy of tennis groundstrokes between elite and high-performance players. *European Journal of Sport Science*, 12(4), 301-308.

Lyons, M., Al-Nakeeb, Y., Hankey, J., & Nevill, A. (2013). The effect of moderate and high-intensity fatigue on groundstroke accuracy in expert and non-expert tennis players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, 298-308.

Moore, S. A., McKay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D., Cameron, N., & Brasher, P. M. (2014). Enhancing a Somatic Maturity Prediction Model. *Med\_ Sci\_ Sports\_ Exerc.* 2015 Aug;47(8):1755-64.

Moreu Jalón, P. (1999): *Estadística Informatizada Aplicable a Cualquier Programa de Estadística*. Madrid: Paraninfo.

Myburgh, G. K., Cumming, S. P., Silva, M. C., Cooke, K., & Malina, R. M. (2016). Maturity-Associated Variation in Functional Characteristics Of Elite Youth Tennis Players. *Pediatr Exerc Sci*, 28(4), 542-552.

Reid, MM. Campbell AC, Elliott BC. Comparison of endpoint data treatment methods for estimation of kinematics and kinetics near impact during the tennis serve. *J Appl Biomech* 2012; 28: 93–98.

Stratford, P.W. y Goldsmith C.H. (1997) Use of standard error as a reliability index of interest: An applied example using elbow flexor strength data. *Phys. Ther.* 77(7): 745-750.

Thomas, J.R. and Nelson, J. K. (1996). *Research methods in physical activity (3<sup>rd</sup> ed.)*. Champaign, IL. Human Kinetics.

Ulbricht, A., Fernández-Fernández, J., Méndez-Villanueva, A., & Ferrauti, A. (2016). Impact of fitness characteristics on tennis performance in elite junior tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 989-998.

Vaverka, F., & Cernosek, M. (2013). Association between body height and serve speed in elite tennis players. *Sports Biomechanics*. 12(1), 30-37.

Vergauwen, L., Madou, B., & Behets, D. (2004). Groundstrokes in young low-to intermediate level tennis players. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36(12), 2099-2016.

3.

## ESTUDIO 2



### 3. Estudio 2

#### *Problema del Estudio 2*

En un gran número de estudios se ha examinado la relación entre la velocidad de la pelota y la fuerza del jugador. Se ha propuesto que un factor determinante en la realización del saque es la rotación del hombro (Cohen et al., 1994), pero que también es muy importante la acción de las piernas, que es donde se inicia la cadena cinética que genera la fuerza de golpeo (Bahamonde, 1997), y que la fuerza de las piernas se transmite a través del tronco (Roetert et al., 1996; Ellenbecker & Roetert, 2000). Por ello se considera que para mejorar el rendimiento en el saque, cuantificado por el incremento de la velocidad sin afectar a la precisión, se debe aumentar la fuerza muscular de toda la cadena cinética (Roetert et al., 2009). No obstante, Signorile et al. (2005) encontraron correlaciones significativas solamente entre la velocidad de la bola en el saque, la derecha y el revés y el momento de fuerza pico cuando se midió la fuerza isocinéticamente, mientras que en otros estudios no se encontraron relaciones entre diferentes valores de fuerza de las piernas, del hombro y del agarre medidos con acciones isocinéticas y la velocidad de la bola (Pugh, 2003; Ellenbecker, 1991). Las discrepancias en los resultados podrían estar relacionadas con los diferentes modos de medir, con las velocidades de ejecución en las pruebas de fuerza y con el tipo de entrenamiento realizado (Pugh, 2003). Por tanto, parece que es necesario seguir indagando para mejorar la valoración de la importancia de la fuerza muscular en la velocidad de ejecución de los golpes.

Por otra parte, el jugador necesita realizar numerosos desplazamientos, que en algunos casos se hacen a la máxima velocidad posible. En este sentido, se ha propuesto que el tenis de elite requiere que los jugadores generen repetidamente altos valores de producción de fuerza en la unidad de tiempo (RFD) para la realización de golpes explosivos y movimientos rápidos sobre la pista durante los partidos (Lees, 2003), lo cual podría explicar por qué se ha observado relación entre el rendimiento del tenis y las pruebas físicas de 5, 10 y 20 m y el salto (Girard & Millet, 2009). Pero las relaciones entre estas pruebas y el rendimiento no se han encontrado en todas las edades, niveles y tipos de rendimientos físicos (Ulbrich et al., 2016). Por tanto, parece que es necesario seguir estudiando en qué medida estas pruebas físicas explican el rendimiento, sobre todo tratando de eliminar la influencia de terceras variables que podrían influir en los valores de las correlaciones habituales de orden cero.

La situación descrita nos despierta el interés por encontrar nuevas variables de rendimiento físico, como la fuerza y la velocidad de desplazamiento, que, junto con las analizadas en el Estudio 1, puedan mejorar el grado de explicación del rendimiento en el tenis. Por ello, nos planteamos el siguiente problema.

***Problema del Estudio 2.*** *¿En qué medida, las variables predictoras analizadas en el primer estudio junto con el rendimiento físico, estimado a través de la capacidad de salto, aceleración en 20 m y la fuerza de los miembros inferiores y superiores, explican la varianza de la velocidad y la precisión del saque y los golpes de fondo de derecha y de revés en jugadores de tenis menores de 20 años?*



***Objetivos del Estudio 2.***

Del problema formulado se derivan los siguientes objetivos:

*Comprobar:*

- *La fiabilidad de la capacidad de salto vertical y de la carrera de 20 metros*
- *Si se dan diferencias en el rendimiento físico en saltos y carrera de 20 m entre los distintos niveles deportivos*
- *En qué medida la talla, el peso corporal, la envergadura, la edad, el nivel deportivo, el salto vertical, la carrera en 20 m y la fuerza en los miembros inferiores y superiores explican individual y conjuntamente la velocidad de la bola en los golpes de saque, de derecha y de revés al aplicar correlaciones de orden cero, correlaciones parciales controlando el resto de las variables y la regresión lineal múltiple*

## ***Hipótesis del Estudio 2.***

Para el primer objetivo de este estudio no tenemos argumentos para pronosticar el posible valor de la fiabilidad de las medidas de las variables incluidas en el citado objetivo. La fiabilidad del salto vertical (CMJ) y de las carreras de 20 m ha sido estudiada en numerosas ocasiones en distintos deportes, habiéndose conseguido siempre valores aceptables de estabilidad en las medidas (Markovic et al., 2004; Cormack et al., 2008; Moir et al., 2008; Torres-Torrelo et al., 2017; Ortega-Becerra et al., 2018). Si tenemos en cuenta los precedentes en este sentido, es probable que la fiabilidad de las medidas objeto de análisis en nuestro estudio presente valores aceptables. De lo contrario, dichas variables no serían adecuadas para analizar su capacidad explicativa del rendimiento en el tenis.

En sujetos jóvenes, a medida que aumenta la edad, tiende a producirse un aumento de la fuerza de los miembros inferiores (Loko et al., 1996; Malina & Bouchard, 1991; Lillegard, et al., 1997), de la capacidad de salto y de aceleración en 30 m (Loko et al., 1996) y de la masa muscular, la cual se asoció con los tiempos de sprint más cortos (Malina et al., 2004). Estos cambios vienen generalmente determinados por el efecto de las fases sensibles del desarrollo de la fuerza, por lo que son independientes del entrenamiento realizado. Por tanto, es de esperar que a medida que aumentan la edad – dentro del rango de edades de la muestra que se utiliza en este estudio –, el tiempo de entrenamiento y el nivel deportivo, se produzca una tendencia a aumentar el rendimiento físico en salto y en carreras cortas. Por tanto, nuestra hipótesis es la siguiente:

*Hipótesis 2.1 La capacidad de salto vertical y de aceleración en distancias de 20 m aumentan de manera significativa a medida que mejora el nivel deportivo*

Además de los argumentos que hemos dado para la justificación de la *hipótesis 1.4*, que son aplicables también a la siguiente hipótesis, debemos añadir que, como se ha indicado en el planteamiento del problema de este estudio, la fuerza con la que se golpea la bola tiene su origen en la fuerza aplicada por las piernas contra el suelo en la fase inicial de la ejecución del golpeo. Este hecho sugiere que, ante una misma eficiencia técnica, una mayor fuerza de las piernas debe tender a permitir una mayor aplicación de fuerza y a lograr una mayor velocidad de la bola en el golpeo. Por otra parte, si en la culminación del golpe se considera determinante la rotación del hombro (Cohen et al., 1994), es

razonable admitir que disponer de mayor fuerza en los miembros superiores podría ser positivo para aprovechar la fuerza generada en la cadena cinética y lograr un golpe más efectivo. Por otra parte, si el jugador necesita realizar rápidos desplazamientos y cambios de dirección, es probable que una mayor capacidad de salto y de aceleración lineal mejore este tipo de acciones. Por tanto, proponemos la siguiente hipótesis:

*Hipótesis 2.2 En jugadores de tenis menores de 20 años, cuanto mayor es el salto vertical, la aceleración en la carrera en 20 m y la fuerza de los miembros inferiores y superiores, mayor tiende a ser, de manera significativa, el nivel deportivo y la velocidad de la bola en los golpes de saque, derecha y revés.*

## Metodología del Estudio 2

### *Tipo de investigación*

Esta investigación es de las mismas características que la del Estudio 1. Por ello, en resumen, y según las explicaciones dadas previamente, esta investigación es *cuantitativa, descriptiva, correlacional y transversal*. Dentro del estudio introducimos, igualmente, la *variable moderadora* “nivel deportivo” de los sujetos, lo que nos permite formar cinco grupos dentro de la muestra objeto de estudio. Esto nos servirá para poder detectar la magnitud de las diferencias entre poblaciones (dentro de las características de los sujetos seleccionados) en los valores de las variables estudiadas.

### *Diseño del estudio*

Los objetivos de este estudio fueron comprobar el grado de explicación que pueden aportar algunas variables de rendimiento físico al rendimiento específico de golpeo, comprobar la relación entre distintas variables de rendimiento físico entre sí en un grupo de tenistas y analizar las posibles diferencias en el rendimiento físico en función del nivel deportivo (ND). El rendimiento específico se determinó por la velocidad máxima y media de golpeo en una serie de golpes realizados a la máxima velocidad posible con la exigencia de una precisión determinada. Adicionalmente, se consideró pertinente conocer el grado de estabilidad (fiabilidad) en los tests de salto vertical y de la carrera de 20 m, dada la confianza que este análisis nos proporciona sobre los datos que manejamos si los resultados del análisis de fiabilidad son favorables. Participaron un total los 85 jugadores del estudio anterior, tenistas seleccionados por la Federación Andaluza de Tenis para formar parte de sus programas de entrenamiento y desarrollo de talentos deportivos. Los sujetos fueron instruidos sobre los objetivos del estudio y los procedimientos a llevar a cabo para obtener los datos que se pretendían. Además de las sesiones de evaluación de golpes y de medición de las variables antropométricas, se añadieron las medidas de salto (salto con contramovimiento: CMJ) y velocidad de desplazamiento (carrera de 20 m). El análisis de los datos se llevó a cabo a través de correlaciones de orden cero y de correlaciones parciales, así como de un análisis lineal de regresión múltiple. Además, a un grupo de 14 sujetos extraídos de la muestra total, se le aplicaron tests de fuerza a través de los ejercicios de sentadilla y press de banca. Por tanto, este grupo de 14 sujetos realizó una sesión de evaluación adicional, en la que se realizaron los tests de fuerza. El análisis de los datos se llevó a cabo a través de correlaciones de orden cero y de correlaciones

parciales para comprobar las posibles relaciones entre variables y un ANOVA de un factor con análisis post-hoc para estudiar las posibles diferencias entre grupos en las variables físicas de rendimiento.

### ***Sujetos***

Los sujetos fueron los mismos que intervinieron en el Estudio 1, y una parte de ellos, 14, participaron en las mediciones de los tests de fuerza de los miembros superiores e inferiores.

Para poder tomar parte en la investigación, los jugadores debían cumplir los mismos requisitos que en el estudio anterior.

### ***Variables objeto de estudio***

#### ***Variables independientes***

- *Peso corporal* (PC) (kg)
- *Talla* (cm)
- *Edad* (años)
- *Envergadura* (EVG) (cm)
- *Nivel deportivo* (ND). Definido por valores del 1 al 5, según los criterios indicados en el apartado anterior (sujetos)

Algunas variables actuaron como independientes y como dependientes, según el tipo de análisis:

- *Tiempo* en recorrer 10 y 20 m desde parado (s)
- *Altura* alcanzada (cm) en un salto vertical con contramovimiento (CMJ)
- *Carga* máxima que el sujeto es capaz de desplazar a una velocidad media propulsiva de  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (kg) en los ejercicios de sentadilla ( $C_{1\_sent}$ ) y press de banca ( $C_{1\_PB}$ ).

#### ***Variables dependientes***

- *Velocidad* ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de golpeo en el saque (S) en el golpe de derecha (D) y en el de revés (R)
- *Precisión* en los tres tipos de golpeo. Se determinó por el cociente entre el número de bolas que botan dentro del espacio preestablecido (bolas “buenas”) y el número de bolas que han sido golpeadas.

### ***Control de variables extrañas***

En un estudio de estas características, las posibles variables extrañas o contaminantes que pudieran intervenir en los resultados hacen referencia a las siguientes posibles fuentes de error y de influencia en las variables dependientes:

- ***Validez de los instrumentos de medida***

Como se describió en el Estudio 1

- ***Ejecución técnica y cumplimiento de los protocolos de evaluación***

Este aspecto se ha controlado debidamente en el momento de la realización de los tests. El efecto de aprendizaje, como se indicó en el Estudio 1, no ha existido en los tests específicos, dada la alta práctica previa de los sujetos, y se ha eliminado o reducido de manera relevante en los tests de fuerza y velocidad, porque previamente se hizo la familiarización correspondiente, recordando paralelamente las instrucciones de ejecución. Todas las sesiones de evaluación que componen este estudio se llevaron a cabo bajo la supervisión de la autora de esta tesis y del equipo de investigadores-colaboradores.

- ***Situación ambiental***

Igual a lo descrito en el Estudio 1.

### ***Evaluaciones: medidas antropométricas, pruebas físicas y tests específicos***

#### ***Medidas antropométricas***

- ***De la misma manera que en el Estudio 1***

#### ***Test de velocidad en 10 y 20 m.***

- Se midió el tiempo en recorrer 10 y 20 metros utilizando unas células fotoeléctricas (Microgate, Bolzano, Italia). Para ello, se colocaron tres células a los 0, 10 y 20 m, a una altura aproximada de 1,20 m. El test destinado a conocer las variables descriptivas se realizó en la misma pista de tenis, con zapatillas de competición y en ausencia de viento. Todos los participantes realizaron un calentamiento estandarizado previo de 15 minutos que consistió en cinco minutos de carrera

continua suave, cuatro progresiones de 30-35 m, con dos minutos de recuperación entre cada una de ellas, a intensidad creciente y dos repeticiones de 10 m a la máxima velocidad posible. Después del calentamiento, los sujetos realizaron el test de 20 m en dos ocasiones, con tres minutos de recuperación entre ellos, midiendo el tiempo parcial al pasar por la distancia de 10 m. Los jugadores partían de una posición de pie, con una pierna adelantada y colocada inmediatamente por detrás de la línea de salida, que estaba situada a 1 m de la marca de 0 m. El inicio de la carrera fue libre, a partir de la orden “cuando quieras” por parte de la persona que controlaba la realización de la prueba. Los participantes fueron instruidos y animados a recorrer los 20 m a la máxima velocidad posible. Como resultado de la prueba se utilizó el mejor de los dos intentos en cada distancia.

*Test de salto con contramovimiento (CMJ):*

- El CMJ es un salto vertical en el que se busca alcanzar la máxima elevación del centro de gravedad, realizando una flexión-extensión rápida de piernas con la mínima parada entre ambas fases. Con el fin de eliminar el efecto de los movimientos de los brazos en el resultado del test, se instruyó a los participantes para que mantuvieran las manos en las caderas durante todo el tiempo de realización del test. El grado de flexión de piernas fue libre y no medido, pero se controlaba visualmente que el ángulo de flexión de las rodillas fuera aproximadamente de 90°. En los tests de calentamiento, y durante la propia realización de la prueba, se proporcionaba el feed-back correspondiente, si era necesario, para que el salto se ajustara al protocolo previsto. Se pidió a los participantes que en la fase excéntrica del movimiento no inclinaran el tronco hacia adelante y que durante la fase de vuelo mantuvieran las rodillas estiradas y los pies en flexión plantar, de manera que la toma de contacto con el suelo en la caída fuera con las puntas de los pies. Para controlar que no se produjera un desplazamiento excesivo con respecto a la situación de los pies en la realización del salto, y que este fuera vertical, se colocaron unas líneas paralelas por delante y por detrás de los pies, separadas entre sí por 0,5 m. Si en la caída del salto se pisaba alguna de estas líneas, el salto no se consideraba como válido. Se realizaban cinco saltos, eliminando el mejor y el peor, y tomando como resultado del test la media de los tres centrales.



*Test isoinercial de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa*

- Esta prueba se realizó sobre un pórtico o máquina tipo *Smith*. Para su realización, los participantes partieron desde una posición de pie, con las rodillas y las caderas totalmente extendidas, los pies paralelos con una separación entre ellos similar a la anchura de las caderas, y con la barra colocada por detrás de la cabeza, apoyada sobre la parte superior de la espalda. A partir de esta posición, se realizaba una flexión profunda de las rodillas, hasta que la parte posterior del muslo tomaba contacto con la parte posterior de la pierna, pasando a continuación a la extensión inmediata y completa de las rodillas y caderas. La fase de transición excéntrica-concéntrica se realizaba con un “rebote” moderado, pero sin hacer una pausa al final de la fase excéntrica. La velocidad de flexión de las rodillas (fase excéntrica del movimiento) fue moderada ( $\sim 0.50\text{-}0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), mientras que la extensión (fase concéntrica) debía realizarse a la máxima velocidad posible. Se instruyó debidamente a los sujetos para que al final de la extensión de las rodillas y caderas no se saltara ni se separara la barra de la espalda. Como calentamiento, se realizaron cinco minutos de carrera suave, cinco minutos de ejercicios de movilidad articular de piernas seguido por dos series de ocho y seis repeticiones, con tres minutos de recuperación entre ellas, con cargas que oscilaron entre 10 y 27 kg, según las características de los sujetos. La carga inicial del test osciló entre 17 y 27 kg, y se fue incrementando de 5 en 5 o de 10 en 10 kg, según la capacidad del sujeto, hasta la primera carga en la que la velocidad media propulsiva (VMP) en la fase concéntrica fuera equivalente a  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  o bajara ligeramente de esta velocidad, carga que representa  $\sim 60\%$  de 1RM (Sánchez-Medina et al., 2017). En las primeras cargas, con velocidades  $>1.10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , se realizaron entre 4 y 5 repeticiones y se fueron reduciendo a 3 y 2 repeticiones por serie hasta la carga máxima alcanzada en el test. El tiempo de recuperación entre series fue de tres minutos.

*Test isoinercial de cargas progresivas en el ejercicio de press de banca:*

- Esta prueba se realizó también en un pórtico o máquina tipo *Smith*. Los sujetos se colocaron en decúbito supino con la espalda, los glúteos y los pies apoyados sobre el banco, sujetando la barra con una empuñadura prona y una separación

entre las manos ligeramente superior a la anchura de los hombros. La posición en el banco se ajustó para cada participante, de manera que la proyección vertical de la barra quedara ~3-4 cm por encima de la línea intermamaria, cuidando de que al extender los brazos estos quedaran perpendiculares al tronco. Tanto la posición en el banco como la anchura del agarre de las manos se mantuvieron estables durante la realización del test. Los sujetos iniciaban el test con los brazos extendidos y con la barra reposando sobre la palma de las manos. Después de ejecutar la fase excéntrica del ejercicio a una velocidad controlada ( $\sim 0.40 - 0.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), se paraba (reposaba) la barra durante  $\sim 1.5 \text{ s}$  sobre el pecho, y a continuación, después de la orden de “¡ya!” de la persona que controlaba la prueba, y evitando una acción de contramovimiento, se realizaba la acción concéntrica a la máxima velocidad posible hasta alcanzar de nuevo la posición inicial con los brazos totalmente extendidos. La pausa momentánea impuesta entre la fase excéntrica y concéntrica tenía como objetivo maximizar la precisión y estabilidad de la velocidad de ejecución (Pallares, et al., 2014). Antes de la prueba se realizó un calentamiento estandarizado que consistió en cinco minutos de movilidad articular de brazos seguido por dos series de 8 y 6 repeticiones, con tres minutos de recuperación entre ellas, con cargas que oscilaron entre 10 y 20 kg, según las características de los sujetos. La carga inicial del test osciló entre 10 y 20 kg y se incrementó progresivamente de 5 en 5 o de 10 en 10 kg hasta que la VMP obtenida durante la fase concéntrica fue igual o inferior a  $0,62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , la cual se corresponde con  $\sim 70\%$  1RM en este ejercicio (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010). Se realizaron 3-4 repeticiones con cargas bajas ( $\text{VMP} > 0.95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y 2 con el resto de las cargas hasta alcanzar la VMP predeterminada. El tiempo de recuperación entre series fue de tres minutos aproximadamente.

### *Tests de velocidad de golpes y precisión*

Como se ha descrito en el Estudio 1

### ***Instrumental de Evaluación***

- *Maquina o pórtico tipo Smith* (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, España). Este aparato se utilizó para valorar la fuerza en los ejercicios de sentadilla y press de banca. Esta máquina tiene unas dimensiones de 2,60 m de altura, 2,10 m de ancho y 1,20 m de profundidad, y dispone de dos guías verticales para asegurar el desplazamiento vertical de la barra durante todo el recorrido. Además, dispone de rodamientos de alta calidad que minimizan la fricción con las guías cuando se desplaza la barra, lo que permite minimizar el error de medida.
  
- *Transductor lineal de Velocidad*. La velocidad de ejecución en los ejercicios de sentadilla y press de banca se registró con un transductor lineal de velocidad (T-FORCE Dynamic Measurement System2, Ergotech Consulting S.L., Murcia, España). El sistema está basado en un transductor lineal – tacogenerador de alta precisión– (V Series, Unimeasure, Corvalis, EE.UU.), que realiza una medición directa de la velocidad de desplazamiento vertical a la que se extiende o retrae el cable de 2 m que tiene incorporado. Un software desarrollado al efecto permite registrar distintas variables dinámicas y cinemáticas de cada ejecución, tanto en la fase concéntrica como excéntrica del movimiento, de las cuales, en nuestro caso, tomamos la VMP concéntrica de cada repetición. El hardware y software se conectan a través de un interfaz USB, el cual consta de una tarjeta electrónica de adquisición de datos dotada de un conversor A/D de 14 bits de resolución que transforma la señal analógica emitida por el transductor en una señal digital que es recibida por el software. La frecuencia de muestreo es de 1.000 Hz. El software del dispositivo tiene incorporado el cálculo de la fase propulsiva del movimiento. La fase propulsiva se define como aquella parte de la fase concéntrica durante la cual la aceleración es positiva más la parte desacelerativa cuya aceleración negativa es inferior  $-9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Si la carga es pequeña, se puede producir una fase de frenado, en la que la desaceleración es superior a  $-9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . La fiabilidad y validez de este instrumento de medida se estableció al comparar el desplazamiento obtenido con este aparato con el obtenido por un instrumento de alta precisión digital de distancia (Mitutoyo HDS-H60C; Mitutoyo, Corp.,

Kawasaki, Japan), previamente calibrado por el Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial (INTA) (Madrid). La media de error de velocidad de 18 unidades de este aparato fue  $<0,25\%$ , y el desplazamiento presentó una desviación máxima de  $\pm 0,5$  mm. El coeficiente de correlación intraclase (CCI) de dos unidades del instrumento después de 30 mediciones de velocidad que oscilaron entre  $0,3$  y  $2,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  de VMP fue igual a 1 (intervalo de confianza del  $95\% = 1-1$ ) y coeficiente de variación (CV) de  $0,57\%$  (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Este instrumento de medida ha sido utilizado en más de 30 trabajos científicos publicados desde 2010 (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010) hasta 2018 (Rodríguez-Rosell et al., 2018).

- *Plataforma de Salto.* La capacidad de salto se determinó utilizando una plataforma de contactos Optojump (Microgate, Bolzano, Italia). Este es un sistema óptico de obtención de datos, compuesto de una barra óptica transmisora y una receptora. Cada barra tiene una longitud de 1 m y contiene 96 leds infrarrojos ( $1.0416$  cm de resolución). Los leds ubicados sobre la barra transmisora (RX) se comunican continuamente con los leds ubicados en la barra receptora (TX). El sistema detecta eventuales interrupciones y su duración. Esto permite la medición de los tiempos de vuelo y de contacto durante la ejecución de una serie de saltos, con una precisión de  $1/1000$  de segundo. La plataforma de contactos Optojump cuenta con un sistema de cronometraje electrónico (microprocesador) que se acciona automáticamente en el momento que el participante despegue los pies del suelo y lo cierra en el momento en el que los pies del participante tocan de nuevo el suelo. Por tanto, la información que nos aporta el dispositivo es el tiempo de vuelo ( $t$ ) (subida + bajada), y también la altura ( $h$ ) del salto calculada a través de la fórmula:  $h = t^2 \cdot g / 8$ , donde  $g$  es la aceleración de la gravedad. La fiabilidad del sistema Optojump para calcular el tiempo de vuelo y la estimación de la altura de salto ha sido analizada recientemente mostrando una alta reproducibilidad (Glatthorn et al., 2011).
- *Células Fotoeléctricas.* El tiempo en recorrer 10 y 20 m se midió con las células fotoeléctricas Witty (Wireless training timer, Microgate, Bolzano,

Italia). Estas células fotoeléctricas constan de un transmisor de rayos de luz y un detector. Un haz de luz se establece entre el emisor y un espejo catadióptrico. Cuando se enciende el transmisor, el rayo infrarrojo debe reflejarse en el espejo y volver al receptor. Una señal acústica nos indica que ambos elementos están colocados correctamente, uno enfrente del otro. Cuando el deportista atraviesa el haz de luz, situado perpendicularmente a la dirección del movimiento, esta deja de recibirse en el receptor. Como consecuencia, se interrumpe la corriente y este suceso es detectado electrónicamente, determinándose el momento de la interrupción. Los tiempos registrados se transmiten vía radio a una unidad central con una resolución de una centésima de segundo (0.01 s) (frecuencia de muestreo de 100 Hz).

- *Radar*. Ya descrito en el Estudio 1.
- El instrumental para efectuar las evaluaciones antropométricas se ha indicado en el apartado correspondiente

### **Análisis estadístico**

Los datos se presentan a través de la media y la desviación típica de los valores de las variables. Se analizó la fiabilidad relativa y absoluta por el mismo procedimiento descrito en el Estudio 1, así como el mínimo cambio detectable (MCD).

También se aplicó el *coeficiente de correlación bivariado de Pearson*, las correlaciones *parciales* y *análisis de regresión lineal múltiple*, según los procedimientos descritos previamente y con los mismos objetivos.

Para comparar los rendimientos físicos y específicos entre los distintos niveles deportivos (ND) se aplicó un ANOVA de un factor, con el correspondiente análisis post hoc.

La relación entre variables y las diferencias entre medias se consideraron significativas si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ( $p \leq 0,05$ ).

## Resultados del Estudio 2

### *Fiabilidad del salto con contramovimiento (CMJ) y de la carrera de 20 m*

La fiabilidad del CMJ y de las carreras resultó ser muy alta: coeficientes de correlación intraclass (CCI) muy elevados y coeficientes de variación (CV) muy pequeños en todos los casos (tabla 3.1), y también ofrecieron una alta capacidad de resolución, al presentar unos valores de mínimos cambios detectables (MCD) muy bajos.

Tabla 3.1 Fiabilidad de las medidas de CMJ y carreras.

	CCI (IC: 95%)	ETM (cm; s)	CV (%)	MCD (cm; s)	Media (cm; s)	MCD (%)
CMJ (cm)	0.99 (0.993-0.997)	0,76	2,6	2,1	29,23	7,18
Carreras						
0-10 m (s)	0.97 (0.94-0.98)	0,03	1,7	0,08	1,86	4,5
0-20 m (s)	0.98 (0.97-0.99)	0,04	1,36	0,11	3,30	3,3

CCI = coeficiente de correlación intraclass; ETM = error típico de medida; CV = coeficiente de variación; MCD = mínimo cambio detectable ( $\sqrt{2} \cdot \text{ETM} \cdot 1,96$ ); MCD (%) = porcentaje que representa el MCD de la media; CMJ: salto con contramovimiento.

### *Diferencias en el rendimiento físico según niveles deportivos*

El CMJ y los tiempos en 0-10 y 0-20 m mostraron diferencias significativas entre los distintos ND ( $p < 0,05$  en todos los casos), pero estas diferencias solamente fueron significativas con respecto al ND\_5. El ND\_5 presentó un rendimiento superior en todas estas variables a los niveles deportivos 1 y 2, no observándose diferencias significativas entre el resto de los niveles en ninguna de las variables (tabla 3.2).

Tabla 3.2. Diferencias en el rendimiento físico según niveles deportivos

	ND_1 (n=14)	ND_2 (n=27/28)	ND_3 (n=14/20)	ND_4 (n=4/7)	ND_5 (n=5)
CMJ	27,6 ± 5,2	28,15 ± 7,6	28,74 ± 5,4	29,74 ± 5,4	37,26 ± 2,1 <sup>*,#</sup>
Cambio (%)		2	4,1	7,8	35
0-10 m	1,91 ± 0,11	1,87 ± 0,14	1,85 ± 0,09	1,79 ± 0,08	1,7 ± 0,04 <sup>*,#</sup>
Cambio (%)		2,1	3,1	6,3	11
0-20 m	3,36 ± 0,21	3,32 ± 0,29	3,28 ± 0,17	3,16 ± 0,15	2,99 ± 0,05 <sup>*,#</sup>
Cambio (%)		1,2	2,4	6	11

CMJ: salto con contramovimiento; 0-10 y 0-20 m: tiempos en una carrera de 10 y 20 m; ND: nivel deportivo; Cambio (%): cambio con respecto al ND\_1

\* = diferencias con respecto al ND\_1 ( $p < 0,05$ ); # = diferencias con respecto al ND\_2 ( $p < 0,05$ ).

***Correlación entre variables físicas de interés: CMJ, carga de  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla ( $C_{1\_sent.}$ ) y carreras, y la correlación entre estas variables al aplicar la correlación parcial controlando el nivel deportivo (ND) por una parte y la edad y las variables antropométricas conjuntamente, por otra***

El CMJ mantiene valores de correlación altos y significativos con las carreras y la carga de  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla ( $C_{1\_sent.}$ ) incluso al controlar el ND, perdiendo poca varianza explicada. De manera semejante se comporta la correlación entre la  $C_{1\_sent.}$  y las carreras. Al controlar la edad y las variables antropométricas (peso, talla y envergadura) conjuntamente, el CMJ mantiene correlaciones significativas e incluso aumenta la varianza explicada de la  $C_{1\_sent.}$  con respecto a la correlación de orden cero, mientras que la  $C_{1\_sent.}$  pierde significatividad estadística con la distancia de 0-10 m, pero la mantiene con la de 0-20 m (tabla 3.3).

Tabla 3.3 Coeficiente de correlación de Pearson entre variables físicas de interés: CMJ, carga de  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla ( $C_{1\_sent.}$ ) y carreras, y la correlación entre estas variables al aplicar la correlación parcial controlando el nivel deportivo (ND) de manera independiente y la edad y las variables antropométricas de manera conjunta ( $n = 64$  para CMJ y carreras;  $n = 14$  con sentadilla)

	0-10 m			0-20 m			$C_{1\_sent.}$		
	r	$r_{\text{par\_ND}}$	$r_{\text{par\_AE}}$	r	$r_{\text{par\_ND}}$	$r_{\text{par\_AE}}$	r	$r_{\text{par\_ND}}$	$r_{\text{par\_AE}}$
CMJ	-0,87***	-0,85***	-0,7***	-0,91***	-0,9***	-0,76***	0,86***	0,79***	0,89*
$C_{1\_sent.}$	-0,71**	-0,65*	-0,53	-0,84***	-0,76**	-0,78**			

r = correlación de Pearson;  $r_{\text{par\_ND}}$  = correlación parcial controlando el ND;  $r_{\text{par\_AE}}$ : correlación parcial controlando las variables antropométricas y la edad conjuntamente

\*:  $p < 0.05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; \*\*\*:  $p < 0.001$ .

En las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se muestran los gráficos de las correlaciones más relevantes indicadas en la tabla 3.3. Se puede apreciar una clara tendencia a la distribución uniforme de los distintos puntos alrededor de todo el rango de valores de la recta de regresión en el eje de abscisas.

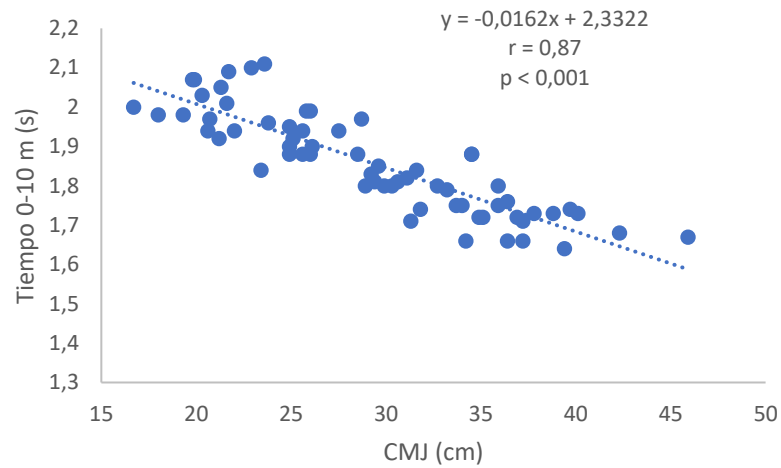


Figura 3.1 Relación entre el salto vertical (CMJ) y el tiempo en 0-10 m

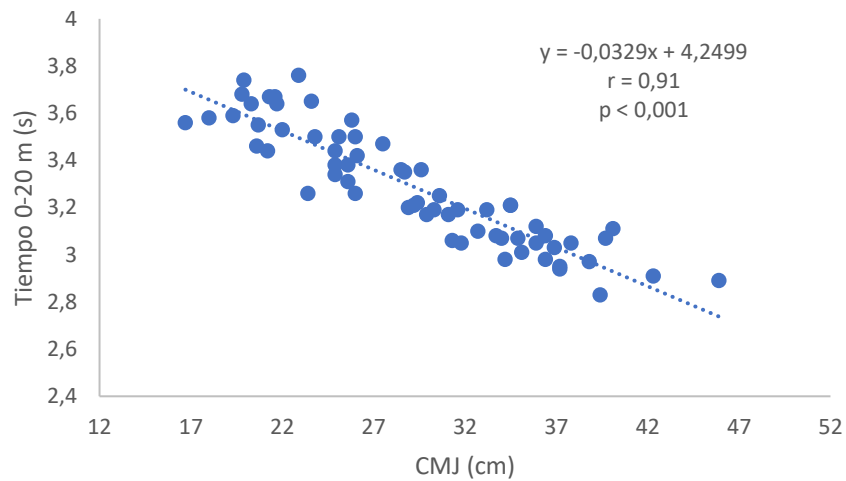


Figura 3.2 Relación entre el salto vertical (CMJ) y el tiempo en 0-20 m

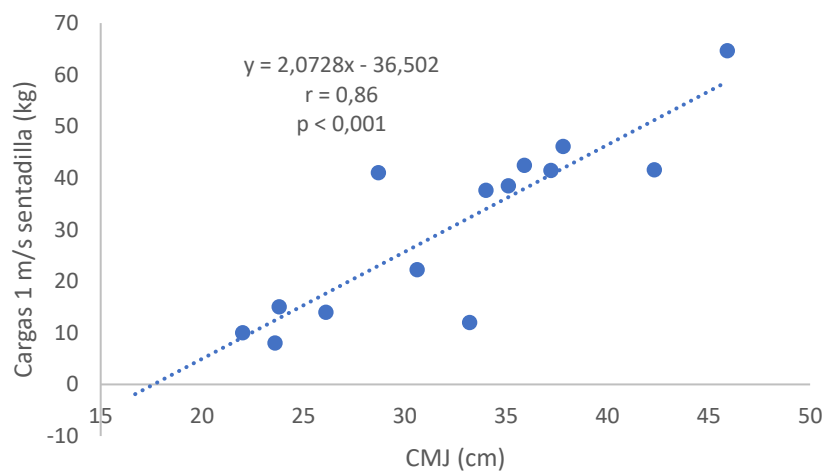


Figura 3.3 Relación entre el salto vertical (CMJ) y la carga de  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en sentadilla ( $C_{1\_sent}$ ).



***Correlaciones bivariadas de Pearson de orden cero y correlaciones parciales entre variables de rendimiento físico, antropométricas, ND y golpes***

En la tabla 3.4 se muestran las correlaciones de Pearson entre las variables CMJ, carga de  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en sentadilla ( $C_{1\_sent.}$ ), carga de  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en press de banca ( $C_{1\_PB.}$ ) y carreras de 0-10 y 0-20 m con la velocidad en los golpes de saque, derecha y revés, así como la correlación entre las mismas variables al aplicar la correlación parcial controlando el ND por un lado, de manera independiente, y las variables edad y antropométricas (peso, talla, envergadura) conjuntamente, por el otro. Las correlaciones de Pearson de orden cero son todas significativas y de valores que oscilan desde moderados a muy altos. El control del ND tiene poca influencia en los valores de las correlaciones, permaneciendo todas las correlaciones significativas y con escasa pérdida de varianza explicada, incluso con un ligero aumento de la correlación en la variable  $C_{1\_PB}$  con el saque, tanto en la velocidad media como en la máxima. Sin embargo, el control de la edad más las variables antropométricas conjuntamente tienden a disminuir claramente el valor de las correlaciones, produciéndose una elevada pérdida de varianza explicada. El CMJ y, especialmente, las carreras (0-10 y 0-20 m) tienden a presentar una correlación ligeramente mejor con la velocidad máxima de todos los golpes en las correlaciones de orden cero y en las correlaciones parciales.

Tabla 3.4 Coeficiente de correlación de Pearson entre la velocidad media y la velocidad máxima en los golpes de saque, derecha y revés y variables físicas de interés: CMJ, carga de  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en sentadilla ( $C_{1\_sent.}$ ), carga de  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en press de banca ( $C_{1\_PB.}$ ) y carreras, y la correlación entre las mismas variables al aplicar la correlación parcial controlando el nivel deportivo (ND) individualmente por un lado y las variables antropométricas y la edad (AE) por otro. ( $n = 64$  para CMJ y carreras;  $n = 14$  con sentadilla y press de banca;  $n = 74$  para CMJ y golpes)

	Saque Velocidad media Velocidad máxima			Derecha Velocidad media Velocidad máxima			Revés Velocidad media Velocidad máxima		
	r	r <sub>par ND</sub>	r <sub>par AE</sub>	r	r <sub>par ND</sub>	r <sub>par AE</sub>	r	r <sub>par ND</sub>	r <sub>par AE</sub>
CMJ	0,69***	0,66***	0,37**	0,5***	0,43***	0,09	0,48***	0,39***	0,13
CMJ	0,71***	0,68***	0,4**	0,57***	0,5***	0,15	0,52***	0,45***	0,2
$C_{1\_sent.}$	0,93**	0,91***	0,56 <sup>(3)</sup>	0,86***	0,79***	0,2	0,82***	0,71**	0,38
$C_{1\_sent.}$	0,92***	-0,9***	0,55 <sup>(3)</sup>	0,82***	0,7**	0,34	0,82	0,7**	0,49
$C_{1\_PB}$	0,89***	0,9***	0,3	0,79***	0,72**	0,16	0,73**	0,62*	0,08
$C_{1\_PB}$	0,88***	0,92***	0,26	0,73**	0,62*	0,38	0,66**	0,5 <sup>(1)</sup>	0,09
0-10 m	-0,71***	-0,64***	-0,45***	-0,55***	-0,43***	-0,24 <sup>(1)</sup>	-0,56***	-0,43***	-0,31*
0-10 m	-0,74***	-0,68***	-0,52***	-0,62***	-0,51***	-0,28*	-0,58***	-0,46***	-0,31*
0-20 m	-0,75***	-0,7***	-0,4***	-0,56***	-0,45***	-0,14	-0,56***	-0,45***	-0,23 <sup>(2)</sup>
0-20 m	-0,78***	-0,74***	-0,47***	-0,64***	-0,56***	-0,21	-0,61***	-0,52***	-0,28*

La primera fila de cada variable expresa las relaciones con la velocidad media y la segunda con la velocidad máxima. r = correlación de Pearson; r<sub>par ND</sub> = correlación parcial controlando el ND; r<sub>par AE</sub>: correlación parcial controlando las variables antropométricas y la edad conjuntamente.

\*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; \*\*\*:  $p < 0,001$ . (1):  $p = 0,06 / 0,066$ ; (2):  $p = 0,08$ ; (3):  $p = 0,09$ .

***Relación entre las variables de rendimiento físico y la precisión en los golpes***

No se observó ninguna relación significativa entre ninguna variable física y la precisión de los golpes.

***Varianza explicada de la velocidad de los tres golpes a través del análisis lineal de regresión múltiple***

Para conocer la varianza explicada de las velocidades medias y máximas de los tres golpes, se aplicó un análisis lineal de regresión múltiple con el método paso a paso, tomando de manera conjunta como variables predictoras las mismas que en el Estudio 1: edad, ND, peso corporal, altura y envergadura, más el tiempo en 0-10 m y el CMJ (tabla 3.5). La varianza explicada ( $R^2$ ) fue ligeramente superior para la velocidad máxima que para la velocidad media en los tres golpes, y además se observó una tendencia a ser mayor en el saque que en la derecha y el revés. Esta misma tendencia se observó en el Estudio 1. El ND sigue siendo la única variable que está presente en todas las ecuaciones de regresión. El tiempo en 0-10 m (0-10) se incorpora en tres de las seis ecuaciones: las dos del saque y la velocidad máxima del golpe de derecha. Y la talla aparece en la velocidad media del golpe de derecha.

Tabla 3.5 Datos estadísticos del análisis de regresión lineal múltiple a través del método paso a paso con las velocidades medias y máximas como variables dependientes en los tres golpes.

<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Ecuación</b>	<b>CT</b>	<b>Toler,</b>	<b>FIV</b>	<b>K-S</b>
Variable dependiente: velocidad media de la bola en el saque						
0,81	1,9	0,82PC – 45,4(0-10) + 3,27ND + 170,1	PC: 0,58 0-10: -0,31 ND: 0,20	0,636 0,654 0,777	1,57 1,53 1,29	p=0,853
Variable dependiente: velocidad media de la bola en el golpe de derecha						
0,59	1,81	4,19ND + 0,45talla + 35,21	ND: 0,42 talla: 0,51	0,878 0,878	1,138 1,138	p=0,969
Variable dependiente: velocidad media de la bola en el golpe de revés						
0,58	1,88	4,8ND + 0,34EVG + 43,96	ND: 0,5 EVG: 0,44	0,886 0,886	1,129 1,129	p=0,653
Variable dependiente: velocidad máxima de la bola en el saque						
0,83	1,96	0,79PC - 53,04(0-10) + 3,15ND + 194,29	PC: 0,55 0-10: -0,35 ND: 0,2	0,442 0,654 0,777	1,57 1,53 1,29	p=0,895
Variable dependiente: velocidad máxima de la bola en el golpe de derecha						
0,69	2,01	0,45PC + 3,59ND - 21,64(0-10) + 137,95	PC: 0,48 ND: 0,32 0-10: -0,22	0,636 0,777 0,654	1,572 1,286 1,53	p=0,86
Variable dependiente: velocidad máxima de la bola en el golpe de revés						
0,65	2,2	4,78ND + 0,41EVD + 43,25	ND: 0,474 EVD: 0,511	0,886 0,886	1,129 1,129	p=0,66

R<sup>2</sup> = varianza explicada a través de la regresión; DW = Test de independencia de Durbin-Watson para detectar la presencia de autocorrelación en los residuos; CT = coeficientes tipificados; Toler = tolerancia; FIV = factor de inflación de la varianza; K-S = test de Kolmogorov-Smirnov para comprobar el ajuste a la normalidad; PC = peso corporal; ND = nivel deportivo; 0-10 = tiempo en recorrer la distancia de 10 m; EVD = envergadura.

## Discusión del Estudio 2

En este estudio analizamos la relación entre diferentes indicadores de rendimiento físico en jugadores de tenis jóvenes y la capacidad de explicar la varianza de la velocidad de la bola en los golpes de fondo y el saque que tienen las variables analizadas en el Estudio 1: edad, ND, PC, talla y EVG, más el rendimiento físico, representado por las variables de salto con contramovimiento (CMJ), carreras de 0-10 y 0-20 metros y las cargas (peso) que los sujetos eran capaces de desplazar a una velocidad aproximada de  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla ( $C_{1\_sent}$ ) y en press de banca ( $C_{1\_PB}$ ).

Los principales hallazgos del presente estudio fueron los siguientes: 1) la fiabilidad del CMJ y las carreras de 0-10 y 0-20 m fue muy elevada: 0,97 a 0,99 de CCI y de 1,36 a 2,6 de CV; 2) el rendimiento físico en CMJ y en carrera de 0-10 y 0-20 m aumentó de manera continua con el aumento del nivel deportivo, aunque las diferencias solo fueron significativas estadísticamente entre ND\_5 y los ND 1 y 2; 3) el CMJ y la  $C_{1\_sent}$  mantienen correlaciones significativas entre sí y con los tiempos en 0-10 y 0-20 m incluso cuando se controlaba el ND y la edad junto con las variables antropométricas; 4) el rendimiento en todas las variables físicas: CMJ, los tiempos en 0-10 y 0-20 m en carrera, la  $C_{1\_sent}$  y la  $C_{1\_PB}$ , presentó correlaciones significativas con las velocidades medias y máximas de todos los golpes, se mantuvieron significativas al controlar el ND y tendieron a reducirse con el control de la edad y las variables antropométricas conjuntamente, pero ninguna de estas variables presentó relación significativa con la precisión de los golpes; 5) al incluir las variables de rendimiento físico como posibles variables predictoras de la velocidad de los golpes al aplicar la regresión lineal múltiple, se mantuvo una varianza explicada semejante a la del Estudio 1, pero con la inclusión del tiempo en 0-10 m en la ecuación de regresión en tres de las seis ecuaciones.

### *Fiabilidad*

Tanto el CMJ como los tiempos en 0-10 y 0-20 m mostraron una fiabilidad relativa extremadamente alta, con valores de CCI de 0,97 a 0,99, y con un valor mínimo de intervalo de confianza del 95% de 0,94. Este indicador de la fiabilidad, que está condicionado por la variabilidad de la muestra, favorece altos valores de CCI en nuestro caso, dadas las características de los sujetos, pero fue ratificado con valores de coeficiente de variación (CV) muy pequeños, indicadores de la fiabilidad absoluta, lo cual refleja la alta estabilidad de las medidas intra-sujetos. Este valor tiene más relevancia como

indicador de fiabilidad que el CCI, y, además, es independiente de la variabilidad y el rango de valores de la muestra (Atkinson y Nevill, 1998). Esta alta fiabilidad absoluta dio lugar a una alta capacidad de resolución del propio test, ya que el mínimo cambio detectable (MCD) fue muy bajo en las tres pruebas, permitiendo discriminar dos resultados como iguales o no con pequeñas diferencias en sus medidas: 2,1 cm, 0,08 s y 0,11 s para los tests de CMJ, 0-10 m y 0-20 m, respectivamente. Lamentablemente, la comparación de estos resultados con otros estudios de tenis no es fácil, dada la escasa información existente al respecto y la cierta vaguedad y escasez en los datos ofrecidos. Por ejemplo, no es posible contrastar una información que dice solamente que “todas las medidas tuvieron desde moderada a alta fiabilidad, con CCI que oscilaron entre 0,69 a 0,97 en el rendimiento de los tests” (Ulbricht et al. 2016), o que se ofrece solamente la fiabilidad de un test a través del CCI (Vegauwen et al., 2004), cuando lo más importante es el CV, o en otros casos en los que la fiabilidad se calcula a través de la correlación de Pearson (Roetert et al., 1992), lo cual es inadecuado. No parece tampoco razonable indicar que el CCI de la velocidad media del saque es de 0,748, con intervalos de confianza de 0,149 – 0,945, y se sugiera que se trata de “una buena fiabilidad de la medida” (Bonato et al., 2015). La fiabilidad de las medidas de la C<sub>1</sub>\_sent y la C<sub>1</sub>\_PB no se realizó en este estudio, ya que no se pudo medir dos veces a los mismos sujetos, pero la estabilidad de estas medidas ha quedado claramente comprobada en estudios previos para la C<sub>1</sub>\_PB (González-Badillo y Sánchez-Medina 2010), y para la C<sub>1</sub>\_sent (Sánchez-Medina et al., 2017). La alta fiabilidad de estas medidas sugiere que podemos tener una confianza considerable en el resto de los resultados de estos estudios, y especialmente en el Estudio 3, en el que se analizará el efecto del entrenamiento sobre estas variables.

### ***Diferencias en el rendimiento físico según niveles deportivos***

El rendimiento físico en CMJ y en carrera de 0-10 y 0-20 m aumentó de manera continua con el aumento del nivel deportivo, duplicándose prácticamente las mejoras porcentuales con respecto al ND<sub>1</sub> en cada ND superior, aunque las diferencias solo fueron significativas estadísticamente entre el ND<sub>5</sub> y los ND 1 y 2 (tabla 3.2).

En un reciente estudio con sujetos de 11 a 16 años (Ulbricht et al., 2016), se formaron tres grupos de 12, 14 y 16 años de media, y dentro de cada uno de estos grupos se formaron otros dos, uno considerado como grupo “nacional”, de mayor nivel de ranking, y otro como “regional”. El estudio consistió en comparar las variables de CMJ, 0-10 y 0-

20 m entre los grupos “nacional” y “regional”. Los valores de CMJ fueron semejantes a los obtenidos en nuestro estudio, pero en las carreras fueron algo peores que los nuestros. La diferencia importante entre ambos estudios es que en el trabajo citado los resultados van mejorando con la edad: desde 12 a 16 años de media, mientras que en nuestro caso, los valores aumentan con el ND, manteniendo unos mismos valores de edad, peso corporal, talla y madurez desde el ND\_1 al ND\_4 (solo se dio una diferencia significativa: el peso corporal de ND\_4 fue mayor que el del ND\_2;  $p < 0,05$ ). Las diferencias en estas variables entre los grupos “nacionales” y “regionales” en cada edad no se calcularon a través de un ANOVA o una prueba “T”, sino a través del tamaño del efecto (TE). Todos los TE fueron favorables a los grupos “nacionales”, pero en todos los casos, además de darse valores relativamente bajos de TE, apareció el cero en el intervalo de confianza, a pesar de que no utilizaron un intervalo de confianza del 95%, sino del 90%, lo cual aumenta la probabilidad de que no aparezca dicho valor cero, porque se estrechan los valores extremos del intervalo. Resultados semejantes encontraron Kramer et al. (2016) al comparar la evolución de los tiempos en 5 m de esprint desde los 10 a los 15 años, comparando a los sujetos considerados elites con los subelites. Encontraron TE, siempre a favor de los grupos elite, desde grande (1,43) a los 10 años, hasta moderado (0,97) a los 12 años, pero a los 13, 14 y 15 años los TE fueron muy bajos o nulos. No se aporta el intervalo de confianza de estos TE. En sujetos de 12 a 25 años también se observó mayor rendimiento en sujetos elites que en subelites (Kramer et al., 2010). Dado que en los estudios citados, ante la misma edad, los grupos de nivel “nacional” o elite tienden a presentar mayor rendimiento físico que los de nivel “regional” o subelite, estos resultados podrían ser comparables con los nuestros en cuanto a la tendencia a mejorar el rendimiento físico según mejora el nivel deportivo, aunque no siempre de manera significativa, pero con la particularidad de que en nuestro caso se producen cambios sin aumento de la edad, el peso corporal, la talla ni la madurez hasta llegar al ND\_5. Por tanto, nuestros resultados nos permiten sugerir que, en jugadores de tenis jóvenes, se produce una tendencia clara al aumento del rendimiento físico, estimado a través de la capacidad de salto y de carreras cortas, a medida que aumenta el nivel deportivo, incluso aunque este no venga acompañado de un aumento de la edad, el peso corporal, la talla o la madurez. Si la edad media cambia (de 14-15 años a 18, en nuestro caso), con el correspondiente aumento de peso corporal, talla y madurez, y el ND aumenta de manera notable en un grupo con respecto a los demás, el aumento del rendimiento puede ser significativo estadísticamente, aunque el número de sujetos sea reducido, como ocurre en

nuestro caso. Lo relevante de nuestros resultados es que, de nuevo, se observa que el ND no solo parece explicar de manera notable la velocidad de la bola en el golpeo, como vimos en el Estudio 1, sino incluso el rendimiento físico. Es razonable argumentar que, en el rango de edad que estamos tratando, la mejora en el rendimiento físico, especialmente en el esprint, debe estar determinado en gran parte por el aumento de la longitud de la zancada (Hunter et al., 2004), la cual aumenta con la edad y el aumento de la talla. Pero en nuestro caso, no se da esta circunstancia entre los ND 1 y 4, por lo que la tendencia constante a la mejora debe ser por otra razón. Es de suponer que, dado que para que un cuerpo se desplace a mayor velocidad, la única posibilidad es que se aplique más fuerza a dicho cuerpo, la mejora de los tiempos en carrera se tiene que deber necesariamente a una mayor fuerza aplicada en la unidad de tiempo contra el suelo en cada una de las zancadas, es decir, a la mejora de la fuerza aplicada en la unidad de tiempo (Young et al., 1995; Weyand et al., 2010). Por tanto, aunque la mejora de los tiempos se deba fundamentalmente al aumento de la longitud de la zancada, este aumento, en los ND indicados, no se produce por un incremento de la longitud de las piernas o de la talla, sino por la mejora de la fuerza aplicada en la unidad de tiempo (RFD). Para la mejora del rendimiento en el salto vertical valdrían los mismos argumentos expuestos para el esprint en relación con la fuerza aplicada: es imposible, desde el punto de vista de la mecánica, mejorar la altura del salto vertical ante el mismo cuerpo (peso) si no se aplica más fuerza en menos tiempo en la fase concéntrica de apoyo en el suelo al hacer el salto. Por último, cabría preguntarnos por qué mejora el rendimiento físico de manera paralela al ND. En la búsqueda de una posible respuesta, partimos de la premisa de que no parece que en los tenistas jóvenes sea muy frecuente realizar entrenamientos de los llamados “de fuerza” de manera sistemática, lo cual podría tener influencia en el rendimiento físico. Descartada esta posibilidad, y sin entrar en demasiadas especulaciones, se podrían contemplar dos alternativas: i) los sujetos de mayor ND llevan más tiempo entrenando y entrenan más tiempo cada día, y por eso tienden a correr y saltar más, lo cual, desde nuestro punto de vista, no nos parece la mejor opción, ya que entrenar más no necesariamente significa mejorar más (Kuipers, 1996), ii) la segunda opción sería que los sujetos que alcanzan mayor ND ante un mismo tiempo de entrenamiento y edad son aquellos que también disponen de un mayor rendimiento físico inicial, por naturaleza, debido, por ejemplo, a poseer un mayor porcentaje de fibras rápidas, lo cual nos parece más plausible. Esto no significa que para seguir mejorando el nivel deportivo no sea recomendable mejorar aún

más, y de manera permanente, el rendimiento físico, lo cual se podría conseguir con un entrenamiento adecuado “de fuerza”.

### ***Correlación entre CMJ, carga de $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en sentadilla ( $C_{1\_sent.}$ ) y carreras***

Los resultados de nuestro estudio indican que el CMJ mantiene valores de correlación altos y significativos con las carreras de 0-10 y 0-20 m y la carga de  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla ( $C_{1\_sent.}$ ). Estas relaciones se mantienen incluso al controlar el ND individualmente y la edad y las variables antropométricas (peso corporal, talla y envergadura) conjuntamente, perdiendo poca varianza explicada, o incluso aumentando ligeramente la varianza explicada de la  $C_{1\_sent.}$  con respecto a la correlación de orden cero. De manera semejante se comporta la correlación entre la  $C_{1\_sent.}$  y las carreras al controlar el ND, aunque pierde significatividad estadística con la distancia de 0-10 m al controlar el resto de las variables (tabla 3.3).

En algún estudio de tenistas, mujeres, se ha observado una relación entre el salto vertical y la carrera de 10 ( $r = 0,53$ ) y 20 m ( $r = 0,37$ ) (Kraemer et al., 1995), pero no es frecuente que se analicen estas relaciones en el tenis. Sin embargo, la relación entre la capacidad de salto y el rendimiento en carreras de distancias cortas se ha observado desde hace años en distintas especialidades. Por ejemplo, en jugadoras de voleibol y baloncesto (Hakkinen, 1989; Bosco, 1992), en corredores (Young et al., 1995), así como con la fuerza de las piernas (1RM) y el esprint en jugadores de fútbol (Wisloff et al., 2004), por citar algunos estudios. Además, el salto vertical ha resultado válido para predecir ciertos rendimientos deportivos como el levantamiento de pesas (Carlock et al., 2004) y discriminar entre deportistas (Wilson y Murphy, 1996). La carga de  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla no ha sido utilizada hasta ahora en el tenis como referencia de rendimiento deportivo, pero en estudios propios de laboratorio no publicados se observaron altas relaciones ( $p < 0,001$ ) entre la carga que podían desplazar a  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla 18 corredores de nivel nacional e internacional y las velocidades en 20 ( $r = 0,7$ ), 30 ( $r = 0,79$ ), 40 ( $r = 0,81$ ) y 50 m ( $r = 0,84$ ), y estas relaciones aumentaban a medida que se iba incrementando la carga en un trineo para hacer arrastres. Aunque la correlación entre variables no se puede considerar como una relación causa-efecto, al darse una alta correlación entre dos variables, ambas tienen elementos comunes que determinan su varianza y su propia correlación, por lo que es razonable esperar que el cambio de una de ellas venga, generalmente, acompañado del cambio de la otra. Así se ha podido observar en algunos casos: después de un periodo de



entrenamiento, un cambio positivo en el CMJ se asoció con un cambio positivo en la velocidad ( $p < 0,01$ ) en 5 m ( $r = 0,86$ ) y en 15 m ( $r = 0,92$ ) en jugadores de fútbol juveniles (Gorostiaga et al., 2004). Por tanto, el hecho de que se haya observado en nuestro estudio una relación tan estrecha entre las variables de salto, carrera y fuerza en las piernas, y que esta relación, especialmente entre el CMJ y la carrera, se mantenga prácticamente sin modificación cuando se elimina la posible influencia de terceras variables que podrían enmascarar la verdadera relación entre ellas, sugiere que en el entrenamiento se deberían considerar los tres tipos de rendimiento como objetivos, ya que es probable que los tres se vieran beneficiados mutuamente. Un elemento común entre estos tres tipos de rendimiento es la capacidad de producir fuerza en la unidad de tiempo, lo cual es una característica del rendimiento en tenis, especialmente en los desplazamientos y cambios de dirección. Por tanto, no parece discutible que la mejora del rendimiento en estas tres variables pueda beneficiar el rendimiento en competición, especialmente en los desplazamientos y en los cambios de dirección. En síntesis, consideramos que los resultados encontrados en este análisis son una aportación relevante para el conocimiento de las características de los jugadores de tenis y para la orientación del entrenamiento de acondicionamiento físico, especialmente porque estas correlaciones podemos considerarlas como “verdaderas”, ya que han sido despojadas de la influencia de cualquier otra variable conocida que pudiera “falsear” los valores de las correlaciones.

***Correlaciones bivariadas de Pearson de orden cero y correlaciones parciales entre variables de rendimiento físico, antropométricas, ND y golpes***

Los resultados de nuestro estudio indican que las correlaciones de Pearson de orden cero entre las variables indicadoras del rendimiento físico, determinado a través del salto, la carrera y la fuerza de las piernas y los miembros superiores, y el rendimiento específico, determinado por la velocidad de golpeo en los golpes de saque, derecha y revés, son todas significativas y de valores que oscilan desde moderados a muy altos. El control del ND tiene poca influencia en los valores de estas correlaciones, permaneciendo todas ellas significativas y con escasa pérdida de varianza explicada, incluso con un ligero aumento de la correlación entre la variable C<sub>1</sub>\_PB y el saque, tanto en la velocidad media como en la máxima. Sin embargo, el control de la edad más las variables antropométricas conjuntamente tiende a disminuir claramente el valor de las correlaciones, produciéndose una elevada pérdida de varianza explicada. El CMJ y, especialmente, las carreras (0-10 y 0-20 m) tienden a presentar una correlación ligeramente mejor con la velocidad máxima

de todos los golpes en las correlaciones de orden cero y en las correlaciones parciales. No se observó ninguna relación entre las variables físicas y la precisión de los golpes.

Distintos estudios sobre el tenis han analizado la relación entre el salto y el rendimiento en tenis. En algún caso no se ha encontrado relación entre el salto y la velocidad del servicio (Bonato et al., 2015), argumentándose que la posible explicación es que el salto en el tenis probablemente tiene una función “coordinativa”, y “alcanzar la máxima altura en el salto” para hacer un buen saque puede no ser esencial. En otros casos se ha encontrado relación con un ejercicio de máxima capacidad de desplazamiento como es el test de la “araña”:  $r = -0,34$ ;  $p < 0,05$  (Roetert et al., 1992), aunque este tipo de ejercicio es considerado como de “agilidad”. Pero también, en algún caso, se ha encontrado relación significativa entre la carrera y el rendimiento en tenis, determinado este por el puesto obtenido en el ranking:  $r = 0,69, 0,63$  y  $0,74$  para los 5, 10 y 20 m, respectivamente, así como con el CMJ:  $-0,8$ , algo superior que con el SJ (salto sin contramovimiento):  $-0,71$  y el DJ (salto en profundidad):  $-0,66$  (Girard y Millet 2009). En relación con los ejercicios considerados “de fuerza”, en un grupo de 38 mujeres con seis años o más de entrenamiento, el press de banca presentó una relación de  $0,3$  (no se indica la significación) con la velocidad de los tres golpes, y fue mayor con el press militar (todas las correlaciones con un valor  $r = 0,69$  (?) (Kraemer et al., 1995) (resulta como mínimo extraño que los valores de las correlaciones sean “siempre” iguales para todos los golpes). Se argumenta que estas relaciones pueden venir explicadas por la relevancia de los músculos deltoides y pectoral en el press militar y en el press de banca, respectivamente, músculos muy implicados, a su vez, en los distintos golpes. En 33 jugadores, 23 hombres y 10 mujeres, de 13 a 18 años, se encontró relación entre la velocidad de algunos golpes y la fuerza de los miembros superiores medida en distintas acciones de tipo isocinético (Signorile et al., 2005). Se midió la fuerza de rotación interna y externa del hombro, estando sentado y con el brazo aproximadamente perpendicular al tronco, y un ejercicio de lanzamiento en diagonal (diagonal throwing motion), pasando la mano en diagonal por delante del tronco en un recorrido transversal con el brazo estirado. Estos movimientos se realizaron a tres velocidades:  $1,57, 3,14$  y  $4,71 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ . Se medía el momento de fuerza pico, la potencia media y el trabajo total. La única medida que presentó relación con los golpes fue el momento de fuerza pico. En el saque se encontró relación con el movimiento en diagonal:  $r = 0,74$  a  $0,83$ , según las velocidades angulares, en la derecha la relación se dio entre la rotación interna y el golpe en paralelo:  $r = 0,47$  a  $0,5$ , según las velocidades,

y en el revés la relación se dio entre la rotación externa y los golpes en paralelo:  $r = 0,48$  a  $0,51$  y cruzado:  $r = 0,46$  a  $0,48$ . Estas relaciones podrían indicar la relevancia que tiene la fuerza de algunos grupos musculares cuando se miden de manera algo más específica que en otras ocasiones, pero, lamentablemente, los valores de estas correlaciones no se han obtenido de manera adecuada, ya que en los cálculos se incluyen hombres y mujeres, lo que, al tratarse de variables físicas, genera una inflación de la correlación. Así es que estos valores habría que tomarlos con precaución. También se ha encontrado relación significativa ( $r = 0,67$ ;  $p < 0,05$ ) entre la fuerza isométrica de rotación interna del hombro y la velocidad del saque (Baiget et al., 2016). En relación con la fuerza de las piernas, se encontró una correlación de  $0,88$  en todas las mediciones isocinéticas con la velocidad de la bola (Kraemer et al., 1995). Si damos por bueno que todas las correlaciones fueran de  $0,88$ , habría que admitir que la fuerza de las piernas, aunque medida de manera isocinética, explica una alta varianza de la velocidad de la bola en los distintos golpes.

Podríamos decir que casi la totalidad de los estudios mencionados vienen a confirmar nuestros resultados, aunque en algunos casos las variables utilizadas para determinar el rendimiento que denominamos “de fuerza” hayan sido diferentes. En este sentido, podríamos destacar dos importantes diferencias a favor de nuestro estudio. Por una parte, que los dos ejercicios considerados como “de fuerza”, el press de banca y la sentadilla, se han medido de una manera rápida, sencilla, precisa y sin ningún riesgo para el jugador, ya que la carga que se puede desplazar a  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  representa aproximadamente el 45 y el 60% del press de banca y la sentadilla, respectivamente (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2017), y en segundo lugar que estas variables presentan, sin control de otras variables, mayor relación con la velocidad de los golpes que en el resto de los estudios. En cuanto a cada uno de los resultados, deberíamos considerar que el CMJ mantiene su relación significativa con la velocidad del saque a pesar del control de la edad y las variables antropométricas. Esto quiere decir, naturalmente, que aunque estas variables de control fueran iguales para todos los sujetos, el CMJ seguiría presentando relación significativa con la velocidad del saque. Es decir, el CMJ es independiente del resto de variables analizadas en este estudio (es probable que no haya otras variables que pudieran reducir esta relación) en cuanto a su relación con la velocidad del saque. De manera prácticamente idéntica se comporta la  $C_{1\_sent}$ , lo cual sería esperable, dada la relación entre ambas variables ( $0,89$  después del control del resto de variables), pero en el caso de la  $C_{1\_sent}$ , la correlación con los tres golpes, después del

control de todas las variables, sigue siendo relativamente alta (ver tabla 3.4), aunque no aparezca como significativa. Esto se debe al menor número de casos sobre el que se calcula la correlación con respecto a las demás variables (obsérvese en la tabla 3.4 que los valores de sus correlaciones, no siendo significativos, son superiores a otros que sí lo son). Es decir, la correlación no es significativa estadísticamente, pero explica una mayor varianza (mayor tamaño del efecto). La posible explicación de esta persistente relación de la  $C_{1\_sent}$  con la velocidad de los golpes, a pesar del control del resto de variables, podría estar en el hecho de que los golpes de tenis se inician, básicamente, por la aplicación de fuerza sobre el suelo de los extensores de rodilla y caderas, y por ello, si se posee una mayor fuerza en la musculatura propia de estas articulaciones, podría dar lugar, en el conjunto de la cadena cinética, a una mayor transmisión de fuerza al movimiento de la raqueta. En cuanto a las carreras, es importante resaltar también cómo se mantiene la relación con ambas distancias en los tres golpes (tabla 3.4). Independientemente del significado estadístico ya mencionado para las variables anteriores, estas relaciones sugieren que la capacidad de las piernas para aplicar fuerza en la unidad de tiempo, lo que determina el rendimiento en el esprint, es muy relevante para el rendimiento del tenista, no solo en un desplazamiento, lo cual se aproxima más a las características del propio ejercicio de correr, sino en las acciones específicas de golpeo. Este resultado es coherente con la propia relación del esprint con la  $C_{1\_sent}$  (tabla 3.4), que se mantiene prácticamente inalterable cuando se controlan todas las variables, especialmente en la carrera de 0-20 m. Es decir, la fuerza de las piernas, tanto si se expresa a través de la  $C_{1\_sent}$ , como si se hace a través de la capacidad de aceleración, e incluso por la altura del salto, parece ser relevante para el rendimiento en el tenis.

Por último, no se encontró ninguna relación entre las variables de rendimiento físico y la precisión de los golpes. Estos resultados coinciden con los encontrados por Signorile et al. (2005). Parece, por tanto, que la precisión se mantiene relativamente estable con la mejora del nivel deportivo y la mejora de la velocidad del golpeo, como proponíamos en el Estudio 1, no dependiendo, por tanto, de la mejora de la condición física del jugador.

Además de lo indicado, una aportación muy específica de nuestro trabajo con respecto a los demás, es que se ha intentado buscar la verdadera relación de cada variable con el rendimiento. Una vez comprobada la posible influencia de algunas variables sobre los valores de las correlaciones, nuestros propios resultados nos sugieren que probablemente la mayoría de las correlaciones que se indican en los estudios son de valores muy

distintos, generalmente inferiores, a los que se publican. No es necesario explicar la trascendencia que tiene esta cuestión. Entre la escasa fiabilidad de las medidas, como hemos podido comprobar en algunos casos, y la consideración de que cualquier correlación que se encuentra entre dos variables siempre es real, sin tener en cuenta la más que probable influencia de otra u otras variables que podrían invalidarla, se puede ir creando un “cuerpo de conocimiento” basado en resultados probablemente más erróneos de lo permisible.

### ***Varianza explicada de la velocidad de los tres golpes a través del análisis lineal de regresión múltiple***

La aplicación del análisis lineal de regresión múltiple, tomando de manera conjunta como variables predictoras la edad, el ND, las variables antropométricas, el tiempo en 0-10 m y el CMJ, ofreció una varianza explicada ( $R^2$ ) ligeramente superior para la velocidad máxima que para la velocidad media en los tres golpes, y además se observó una tendencia a ser mayor en el saque que en la derecha y el revés. Esta misma tendencia se observó en el Estudio 1. El ND sigue siendo la única variable que está presente en todas las ecuaciones de regresión. El tiempo en 0-10 m (0-10) se incorpora en tres de las seis ecuaciones: las dos del saque y la velocidad máxima del golpe de derecha. La talla aparece en la velocidad media del golpe de derecha, y la EVG sigue apareciendo en la explicación del revés.

No hemos encontrado estudios comparables en los que se trate de explicar la varianza de la velocidad de la bola a través de la correlación múltiple con variables semejantes a las nuestras. Signorile et al. (2005), tomando como variables predictoras la fuerza isocinética de los miembros superiores, encontraron porcentajes de varianza explicada del 68% en la velocidad máxima de saque y del 23% para el golpe paralelo de derecha y para el cruzado y el paralelo del revés. Por otra parte, Kramer et al. (2017) predicen el rendimiento (ranking) en un 25% por la fuerza de los músculos de los miembros superiores y en un 13-15% por la madurez. En relación con la fuerza isométrica, se encontró una varianza explicada del 55% de la velocidad de la bola en el saque por la fuerza isométrica de rotación interna y la flexión del hombro (Baiget et al., 2016). Como se puede apreciar, la capacidad de explicación del rendimiento con las variables analizadas en nuestro trabajo es muy superior a la encontrada en estos estudios, pero los resultados de estos autores nos sugieren que la inclusión de la  $C_{1\_sent}$  y  $C_{1\_PB}$  como posibles variables predictoras,

quizás hubiera podido añadir mayor porcentaje de varianza explicada. Pero esto, que, naturalmente se contempló como una posibilidad, lamentablemente no se pudo hacer, dado que el número de casos en estas dos variables fue muy reducido, lo que hace que no sea pertinente incluirlas en este tipo de análisis.

La utilización del análisis de regresión múltiple se revela como un complemento del análisis de la relación entre las variables de manera bivariada, confirmando la relevancia de cada una de ellas en el conjunto de las posibles variables explicativas de la velocidad de la bola en los tres golpes. En este sentido, es digno de consideración el hecho de que, entre todas las posibles variables predictoras, el tiempo en 0-10 m entre en tres de las ecuaciones. Esto es coherente con el análisis de las correlaciones parciales (tabla 3.4), en el que se puede observar que la carrera de 0-10 m mantiene una correlación significativa con todos los golpes a pesar del control de todas las variables posibles. Esto indica que esta variable explica una parte propia de la varianza de la velocidad de la bola que no es explicada por las demás. Hubiera sido interesante haber podido incluir la  $C_{1\_sent}$  como posible variable predictora, porque sus relaciones con los tres golpes en todas las situaciones son superiores a las de las carreras (tabla 3.4), pero, como hemos indicado, el reducido número de casos en esta variable, nos aconsejó no incluirla en este tipo de análisis. La mayor varianza explicada sigue estando en el saque, lo que, al igual que en el Estudio 1, lo podríamos justificar por la mayor estabilidad de la velocidad en este golpe. En este caso, las tres variables que entraron en la ecuación para explicar la velocidad media y la máxima fueron las mismas (PC, 0-10 y ND). Si miramos los resultados del Estudio 1 (tabla 2.6), podemos observar que en esta ecuación se ha sustituido la variable “edad” por la variable “0-10 m” en ambas velocidades, con un aumento del 2% de la varianza explicada en ambos casos. El golpe de revés sigue siendo el golpe más complejo de explicar. Su varianza explicada vuelve a ser menor que la de los demás golpes, manteniendo el mismo porcentaje que en el Estudio 1, y el número de variables que entran en la ecuación sigue siendo de dos, cambiando el PC por la EVG en la velocidad media.

En síntesis, los resultados vienen a confirmar nuestras dos hipótesis, mostrando, por una parte, que la capacidad de salto y de aceleración en 20 m tiende a aumentar a medida que mejora el nivel deportivo, añadiendo la información relevante de que esta tendencia se produce a pesar de que las variables edad y el conjunto de las variables antropométricas fueron muy estables desde el nivel 1 al nivel 4, y por otra parte, que estas mejoras en la capacidad de salto y de aceleración, junto con la fuerza de los miembros superiores e

inferiores, presentan una relación positiva con la velocidad de la bola a medida que mejora el nivel deportivo

## Conclusiones del Estudio 2

En jugadores de tenis de edades comprendidas entre 13 y 18 años:

- Las medidas obtenidas al realizar correctamente los ejercicios de salto vertical (CMJ) y carreras de 10 y 20 metros presentan una alta fiabilidad y capacidad de discriminación entre los valores de las medidas y, por tanto, entre los rendimientos de los jugadores
- Aunque solo se observaron diferencias significativas entre el ND\_5 y los ND 1 y 2, el rendimiento físico, cuantificado por la capacidad de salto (CMJ) y la capacidad de aceleración en 10 y 20 m, aumenta de manera continua con el ND a pesar de que entre los ND 1 y 4 los valores de la edad y las variables antropométricas fueron muy estables
- El salto vertical (CMJ) y la carga que se puede desplazar a  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $C_{1\_sent}$ ) en sentadilla presentan correlaciones significativas entre sí y con los tiempos en 0-10 y 0-20 m cualesquiera que sean los valores de las variables edad, ND y antropométricas.
- Todas las variables físicas: CMJ, los tiempos en 0-10 y 0-20 m en carrera, la  $C_{1\_sent}$  y la  $C_{1\_PB}$ , presentan correlaciones de orden cero significativas con las velocidades medias y máximas de todos los golpes, y se mantienen significativas al controlar el ND. La  $C_{1\_sent}$  y el tiempo en 0-10 m son las variables que explican individualmente mayor varianza de la velocidad de los tres golpes cuando se controla la edad y las variables antropométricas conjuntamente.
- La inclusión de las variables físicas CMJ y 0-10 m como posibles variables predictoras de la velocidad de los golpes no aumenta la varianza explicada por el ND, la edad y las variables antropométricas, pero incorpora a la ecuación el tiempo en 0-10 m en tres de las seis ecuaciones.



## **Aplicaciones prácticas del Estudio 2**

De los resultados de nuestro estudio se deduce que si se quiere tener una información útil (si se mide bien) y frecuente de la evolución de la condición física de jugadores de las características de los participantes en este estudio, se debería medir con frecuencia la capacidad de salto (CMJ), la carga que puede desplazar el jugador a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en los ejercicios de sentadilla completa y en press de banca y los tiempos en 10 y 20 m. Si a estas medidas se añade la medición de la velocidad de los golpes, la información conjunta de todas estas medidas permitirá conocer de manera precisa y bastante completa el efecto del trabajo técnico y físico que se está realizando, así como tomar decisiones, probablemente acertadas, sobre los ajustes que deban hacerse en el proceso de entrenamiento.

## **Limitaciones del Estudio 2**

Naturalmente, en las posibles limitaciones de este estudio habría que incluir las mismas que se argumentaron en el Estudio 1, ya que en el actual estudio se utilizan prácticamente todos los datos del estudio anterior, pero la inclusión de nuevas variables ha puesto de manifiesto alguna nueva limitación.

En nuestra opinión, la principal limitación de este estudio está en no haber podido medir a un número suficiente de jugadores las variables de fuerza en sentadilla y press de banca. Como es natural, éramos conscientes de esta limitación desde el inicio del estudio, pero, lamentablemente, al trabajar con deportistas de competición, surgen muchas dificultades para conseguir que “cedan” a los deportistas unas horas en el total de la temporada para hacerles una serie de pruebas, y más difícil aún si algunas pruebas se tienen que repetir a lo largo de la temporada. Así es que queda pendiente, como futuro proyecto, mejorar el estudio en este sentido e intentar comprobar en qué medida estas variables, “algo extrañas” en el ámbito del tenis, pueden explicar el rendimiento específico y cómo influyen en el propio proceso de entrenamiento.

## Bibliografía Estudio 2

- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med*, 26, 217-238.
- Bahamonde, R. E. (1997). Joint power production during flat and slice tennis serves. In: 15th International Symposium on Biomechanics in Sports. Denton, tx., pp. 489–494.
- Baiget, E., Corbi, F., Fuentes, J. P., & Fernandez-Fernandez, J. (2016). The Relationship between maximum isometric strength and ball velocity in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics*, 53, 63-71.
- Bonato, M., Maggioni, M. A., Rossi, C., Rampichini, S., La Torre, A., & Merati, G. (2015). Relationship between anthropometric or functional characteristics and maximal serve velocity in professional tennis players. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(10), 1157-1165.
- Bosco, C. (1992). *La valutazione della forza con il test di Bosco*. Roma. Societa Stampa Sportiva.
- Carlock, J.M. S. L. Smith, M.J. Hartman, R.T. Morris, D.A. Ciroslan, K.C. Pierce, R.U. Newton, E.A. Harman, W.A. Sands, and M.H. Stone (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *J. Strength. Cond. Res.* 18(3): 534-539.
- Cohen, D. B., M. Mont, M. A., Campbell, K. R., Vogelstein, B. N., & Loewy, J. W. (1994) Upper extremity physical factors affecting tennis serve velocity. *Am. J. Sportsmed*, 22, 746–750.
- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R., & Doyle, T. L. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Int J Sports Physiol Perform*, 3(2), 131-144.
- Ellenbecker, T. S., & Roetert, E. P. (2000). Isokinetic testing and training in tennis. In L. Brown (Ed.), *Isokinetic in human performance*. Champaign, IL: Human Kinetics (pp. 358-377).
- Ellenbecker, T. S. (1991). A total arm strength isokinetic profile of highly skilled tennis players. *Isokinetic and Exercise Science*, 1, 9-21.
- Girard, O., & Millet, G. P. (2009). Physical determinants of tennis performance in competitive teenager players. *Journal of strength and conditioning research*, 23(6), 1867–1872.
- Glatthorn, J. F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F. M., & Maffiuletti, N. A. (2011). Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res*, 25(2), 556-560.
- Gonzalez-Badillo, J. J., & Sanchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*, 31(5), 347-352.

- Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Ruesta, M., Iribarren, J., Gonzalez-Badillo, J. J., & Ibanez, J. (2004). Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 91(5-6), 698-707.
- Hakkinen, K. (1989) Maximal force explosive strength and speed in female volleyball and basketball players. *Journal of Human Movement Studies* 16(6): 291-304.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med Sci Sports Exerc*, 36(2), 261-271.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., et al. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physio*, 78:976–989.
- Kramer, T., Huijgen, B. C. H., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2017). Prediction of Tennis Performance in Junior Elite Tennis Players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 16, 14-21.
- Kramer, T., Huijgen, B.C., Elferink-Gemser, M.T., Lyons, T., & Visscher, C. (2010). Physical development of young talented tennis players. In J. Coelho-E-Silva, A.J. Figueiredo, M.T. Elferink-Gemser & R.M. Malina (Eds.), *Youth sports participation, trainability and readiness*. Portugal: Coimbra University Press, (pp.93–114).
- Kramer, T., Valente-Dos-Santos, J., Malina, R. M., Huijgen, B.C.H., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2016). Modeling Longitudinal Changes in 5m Sprinting Performance Among Young Male Tennis Players. *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 2, 122(1), 299–318.
- Kuipers, H. (1996) How much its to much. Performance aspects of overtraining. *Research Quarterly Exercise and Sport*. 67(supplement 3): S65-S69
- Lees, A. (2003). Science and the major racket sports: A review. *J Sports Sci*, 21, 707-32.
- Lillegard, W., Brown, E., Wilson, D., Henderson, R., y Lewis, E. (1997). Efficacy of strength training in prepubescent to early post pubescent males and females: Effects of gender and maturity. *Pediatric Rehabilitation*, 1, 147-157.
- Loko, J., Sikkut, T. and Aule, R. (1996) Sensitive periods in physical development *Modern athlete and coach* 34(2): 26-29.
- Malina, R. M. y Bouchard, C. (1991). *Growth maduration and physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J Strength Cond Res*, 18(3), 551-555.
- Moir, G., Shastri, P., & Connaboy, C. (2008). Intersession reliability of vertical jump height in women and men. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1779-1784.

Murphy, A. J; Wilson, G. J (1996) Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 73: 353-357.

Ortega-Becerra, M., Pareja-Blanco, F., Jimenez-Reyes, P., Cuadrado-Penafiel, V., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2018). Determinant Factors of Physical Performance and Specific Throwing in Handball Players of Different Ages. *J Strength Cond Res*, 32(6), 1778-1786.

Pallares, J. G., Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., De La Cruz-Sanchez, E., & Mora-Rodriguez, R. (2014). Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *J Sports Sci*, 32(12), 1165-1175.

Pugh, S.F., Kovalski, J. E., Heitman, R. J., & Gilley, W. F. (2003). Upper and lower body strength in relation to ball speed during a serve by male collegiate tennis players. *Percept. Mot. Skills*, 3:867–872.

Rodriguez-Rosell, D., Yanez-Garcia, J. M., Torres-Torrelo, J., Mora-Custodio, R., Marques, M. C., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2018). Effort Index as a Novel Variable for Monitoring the Level of Effort During Resistance Exercises. *J Strength Cond Res*, 32(8), 2139-2153.

Roetert, E. P., Gladys, Garrett, E., Brown, S. W., & Camaione, D. N. (1992). Performance profiles of nationally ranked junior tennis players. *Journal of Applied Sport Science Research*, 6(4), 225-231.

Roetert, E. P., McCormick, T. J., Brown, S. W., & Ellenbecker, T. S. (1996). Relationship between isokinetic and functional trunk strength in elite junior tennis players. *Isokinetics Exercise Science*, 6, 15-20.

Roetert, E.P., Ellenbecker, T.S., & Reid, M. (2009). Biomechanics of the tennis serve: Implications for strength training. *Strength and Conditioning Journal*, 31, 35-40.

Sanchez-Medina, L., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 43(9), 1725-1734.

Sánchez-Medina, L., Jesús G. Pallarés, Carlos E. Pérez, Ricardo Morán-Navarro and Juan José González-Badillo (2017). Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the Full Back Squat Exercise. *Sports Medicine International Open* 2017; 01(02): E80-E88.

Signorile, J.F., Sandler, D. J., Smith, W. N., Stoutenberg, M., & Perry, A. C. (2005). Correlation analyses and regression modeling between isokinetic testing and on-court performance in competitive adolescent tennis players. *Journal of Science and Conditioning Research*, 19(3), 519-526.

Torres-Torrelo, J., Rodriguez-Rosell, D., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2017). Light-load maximal lifting velocity full squat training program improves important physical and skill characteristics in futsal players. *J Sports Sci*, 35(10), 967-975.

- Ulbricht, A., Fernández-Fernández, J., Méndez-Villanueva, A., & Ferrauti, A. (2016). Impact of fitness characteristics on tennis performance in elite junior tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 989-998.
- Vergauwen, L., Madou, B., & Behets, D. (2004). Authentic evaluation of forehand groundstrokes in young low- to intermediate-level tennis players. *Med Sci Sports Exerc*, 36(12), 2099-2106.
- Weyand, P. G., Sandell, R. F., Prime, D. N., & Bundle, M. W. (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *J Appl Physiol* (1985), 108(4), 950-961.
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med*, 38(3), 285-288.
- Young, W., McLean, B., & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 35(1), 13-19.

4.

## ESTUDIO 3



## 4. Estudio 3

### Problema del Estudio 3

Se ha observado que el entrenamiento de fuerza aumenta las ganancias funcionales y el rendimiento atlético del tenista, además de un aumento significativo en la velocidad de la pelota (Pugh et al., 2003), pero los estudios no siempre producen efectos positivos sobre todas las variables objeto de análisis, y especialmente no se producen en las que hasta el momento parecen explicar en mayor medida la velocidad de la bola y el rendimiento deportivo. El tipo de activación muscular parece que puede influir en el resultado, habiéndose encontrado un efecto positivo con un entrenamiento de tipo isocinético, pero no con el de tipo excéntrico (Ellenbenker et al., 1988). Sin embargo, los ejercicios denominados como pliométricos, realizados a alta velocidad con una intervención intensa del ciclo estiramiento acortamiento, parecen ser un tipo de activación muscular positivo, tanto si se agrega al entrenamiento habitual de fuerza (Lees, 2003; König et al., 2001; Kramer et al., 2003) como si se utiliza de manera exclusiva (Fernández et al., 2016). Un entrenamiento de fuerza con una carga estable del 60% de la RM mejoró de manera significativa el rendimiento en press de banca y en sentadilla, mientras que no hubo mejoras en el desplazamiento de 5 a 20 metros (Sarabia et al., 2010). Parece que los modelos de progresión de las cargas tienen efectos diferenciados en los cambios en la fuerza de los tenistas, pero sin mejoras en la capacidad de aceleración en ninguno de los modelos (Kraemer et al., 2003), lo cual podría estar relacionado con las cargas utilizadas en estos estudios, caracterizadas por alcanzar el fallo muscular, que han mostrado tener efectos nulos o negativos sobre el rendimiento en acciones de alta velocidad (Pareja-Blanco et al., 2017). Un entrenamiento que se puede considerar como específico para el entrenamiento de la fuerza, como sería realizar los gestos de golpeo con raquetas más pesadas que las habituales, no dio como resultado una mayor velocidad en el golpeo (Whiteside et al., 2014). Como se puede observar, no todos los tipos de ejercicios, tipos de activación, grado de carga o fatiga en la serie y progresión de las cargas ofrecen efectos positivos, por lo que se puede deducir que no hay un consenso sobre qué tipo de entrenamiento puede ofrecer los mejores resultados en la mejora del acondicionamiento físico, y que además sea efectivo para mejorar el rendimiento en las acciones específicas del tenis. Por tanto, nuestro problema objeto de estudio es el siguiente:



***Problema del estudio 3.*** *¿Cuál es el efecto de un entrenamiento de fuerza con una intensidad relativa (porcentaje de 1RM) máxima igual o inferior al 60% en sentadilla y al 70% en press de banca, con muy baja fatiga (escasa pérdida de velocidad en la serie), ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible y realizando ejercicios considerados como “no específicos”: sentadillas, press de banca, tracciones y saltos verticales, sobre la fuerza muscular, la velocidad de la bola y la capacidad de desplazamiento en tenistas menores de 20 años?*

***Objetivos del Estudio 3.***

Del problema planteado se derivan los siguientes objetivos:

***Comprobar***

- *El efecto del entrenamiento de fuerza sobre:*
  - *El rendimiento en press de banca, sentadilla, salto vertical y carrera de 20 m*
  - *La velocidad de la bola en los golpes de saque, derecha y revés en cinco tests sucesivos*
- *La posible relación entre los cambios en el rendimiento de las variables físicas y los cambios de velocidad de la bola en los tres tipos de golpes*

### Hipótesis del Estudio 3

Según la mayoría de los resultados de los trabajos citados en el apartado de introducción y en el planteamiento del problema de este estudio, el entrenamiento de fuerza puede mejorar el rendimiento en la capacidad de salto, carrera y fuerza de las piernas y de los miembros superiores. Sin embargo, cuando se han realizado los ejercicios de sentadilla y press de banca, las cargas han llegado al fallo muscular o próximo a él, lo cual, como hemos indicado, no proporciona los mejores resultados (Folland, et al., 2002; Izquierdo, Ibáñez et al., 2006; Sampson & Groeller, 2016; Drinkwater, et al., 2007; Willardson, et al., 2008), o incluso podrían ser negativas para acciones de alta velocidad (Pareja-Blanco et al., 2017). Por el contrario, cargas iguales o inferiores al 60%, generando poca fatiga en la serie, sí han mostrado mejoras en sujetos de edades medias comprendidas entre 15 y 18 años, no solo en los ejercicios entrenados, sino en saltos y carreras de corta duración (González-Badillo et al., 2015; Franco-Márquez et., 2015). Además, se ha propuesto que el tenis de elite requiere que los jugadores generen repetidamente altos valores de RFD para la realización de golpes explosivos y movimientos rápidos (Lees, 2003). Por otra parte, es sabido que el desplazamiento de una carga a mayor velocidad solo es posible si se le aplica más fuerza, lo que lleva implícito mejorar la RFD (aplicar más fuerza en menos tiempo), lo cual sería una consecuencia de la mejora de la fuerza ante la misma carga en el ejercicio correspondiente. Por tanto, es probable que aplicando cargas ligeras y con pocas repeticiones por serie a deportistas menores de 20 años, practicantes del tenis, se puedan obtener efectos positivos sobre la fuerza en los ejercicios de sentadilla y press de banca y en acciones de alta velocidad, que requieren altos valores de RFD, como el salto vertical y la capacidad de aceleración en carrera. Esto nos lleva a formular la siguiente hipótesis:

*Hipótesis 3.1. Un entrenamiento de fuerza con una intensidad relativa máxima igual o inferior al 60% en sentadilla y al 70% en press de banca, realizando menos de la mitad de las repeticiones posibles en la serie y ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible, produce una mejora significativa de la fuerza de los miembros superiores, medida a través del press de banca, y de los miembros inferiores, medida a través de la sentadilla completa, así como de la capacidad de salto y aceleración en tenistas menores de 20 años.*

En distintos estudios se ha observado que el entrenamiento de fuerza a través de distintos procedimientos y grados de cargas ha proporcionado una mejora de la velocidad de la bola en los golpes de saque y de fondo (Genevois et al., 2013; Fernández-Fernández et al., 2013; Terraza et al., 2017). Además, existe un consenso sobre la importancia de la fuerza, tanto de los miembros superiores (Van Gheluwe & Hebbelinck, 1985; Cohen et al., 1994; Elliott et al., 2003; Perry et al., 2004; Elliott et al., 1995; Pugh et al., 2003) como de los inferiores (Bahamonde, 1997; Roetert et al., 1996; Groppel, 1992; Morris et al., 1989; Euon et al., 2003), para alcanzar una mayor velocidad de la bola en los distintos golpes. Parece, por tanto, que existe bastante consenso en que la secuencia adecuada de acciones que llevan a la velocidad máxima de golpeo está determinada por la capacidad de los músculos de las extremidades superiores e inferiores para generar acciones poderosas (Girard et al., 2005). Por tanto, es razonable esperar que una mejora de la fuerza de los miembros superiores e inferiores, con su correspondiente efecto positivo sobre la capacidad de salto y aceleración, permitan mejorar la velocidad de golpeo. Además, si la mejora de la fuerza influye en la mejora de la velocidad de los golpes, es probable que exista relación entre los cambios en el rendimiento físico y los cambios en el rendimiento específico. En este sentido, proponemos la siguiente hipótesis:

*Hipótesis 3.2. Un entrenamiento de fuerza de las características indicadas en la hipótesis 3.1 proporciona una mejora de la velocidad de los golpes de saque y de fondo, y los cambios en la fuerza de los miembros inferiores y superiores, en el salto vertical y en la aceleración presentan relaciones significativas con los cambios en las velocidades de la bola en los golpes de saque y de fondo.*

### Metodología del Estudio 3

#### *Tipo de investigación*

Dadas las características de los datos, nuestro estudio es una investigación *cuantitativa*, y fundamentalmente *longitudinal*, ya que estudiamos la evolución de la respuesta mecánica y técnica específica durante un periodo de varias semanas. Es *cuasiexperimental*, dado que se aplican y controlan algunas variables independientes para observar su efecto sobre las variables dependientes, pero con un solo grupo, y en parte también es *correlacional*, ya que analizamos la posible relación entre los cambios de las variables de rendimiento físico y la velocidad de la bola en los distintos golpes.

#### *Diseño del estudio*

En este Estudio participaron 14 sujetos de los que ya fueron evaluados en los dos estudios anteriores. Los participantes fueron instruidos sobre los objetivos del estudio y los procedimientos a llevar a cabo para obtener los datos que se pretendían. Los sujetos fueron evaluados en cinco ocasiones sobre determinadas variables antropométricas (peso, talla y envergadura), de rendimiento físico en capacidad de salto (salto con contramovimiento: CMJ) y velocidad de desplazamiento (carrera de 20 m), de velocidad de golpeo en los golpes de saque, derecha y revés y de la fuerza de los miembros superiores e inferiores a través de los ejercicios de press de banca y de sentadilla, respectivamente.

El objetivo de este estudio fue comprobar el efecto de un periodo de entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico y específico (velocidad de golpeo). Esto sujetos realizaron un entrenamiento de fuerza paralelamente a su entrenamiento específico de tenis durante tres ciclos de entrenamiento de ocho semanas con dos sesiones de entrenamiento por semana. Los sujetos fueron evaluados en todas las variables antropométricas, de rendimiento físico y de rendimiento específico al inicio del periodo de entrenamiento, al final de cada ciclo y entre el primero y segundo ciclo (5 veces en total). Los efectos del entrenamiento se analizaron a través de un ANOVA de medidas repetidas y a través del tamaño del efecto. Además, se analizaron las correlaciones entre los cambios de rendimiento en todas las variables físicas y antropométricas y los cambios en el rendimiento específico.

### ***Sujetos***

Como se ha indicado, la muestra del estudio estuvo formada por 14 sujetos extraídos del grupo general de 85 que formó parte de los dos estudios anteriores. Este grupo realizó un entrenamiento de fuerza adicional al entrenamiento específico durante tres ciclos de ocho semanas. Para poder tomar parte en la investigación, los jugadores debían cumplir los mismos requisitos que en los dos estudios anteriores.

### ***Variables objeto de estudio***

#### ***Variables independientes***

- ***Entrenamientos realizados:***
  - Pesos utilizados en el entrenamiento de fuerza (kg). En esta variable se podría incluir la carga máxima que cada sujeto podía desplazar a una velocidad aproximada de  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en los ejercicios de sentadilla ( $C_{1\_sent}$ ) y press de banca ( $C_{1\_PB}$ ), ya que esta carga sirvió como referencia para dosificar la carga (peso) de entrenamiento
  - Cargas utilizadas en el ejercicio de tracción
  - Series y repeticiones del ejercicio de salto vertical.

#### ***Variables dependientes***

- ***Velocidad*** ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de golpeo en el saque (S) en el golpe de derecha (D) y en el de revés (R)
- ***Precisión*** en los tres tipos de golpeo. Determinada como se ha indicado en los estudios anteriores
- ***Tiempo*** en recorrer 10 y 20 m desde parado (s)
- ***Altura*** alcanzada (cm) en un salto vertical con contramovimiento (CMJ)
- ***Carga*** máxima que el sujeto es capaz de desplazar a una velocidad media propulsiva de  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (kg) en los ejercicios de sentadilla ( $C_{1\_sent}$ ) y press de banca ( $C_{1\_PB}$ ).

### ***Control de variables extrañas***

Se llevó a cabo de la misma manera que en los dos estudios anteriores. Cada una de las sesiones de entrenamiento fueron controladas por la autora de esta tesis o por los investigadores-colaboradores.

***Evaluaciones: medidas antropométricas, pruebas físicas y tests específicos***

*Medidas antropométricas.* Fueron las misma ya descritas en el Estudio 1.

*Tests de carrera de 10 y 20 m, de CMJ, de cargas progresivas en los ejercicios de press de banca y sentadilla y de velocidad de golpeo.* Según se ha descrito en el Estudio 2.

***Instrumental de Evaluación***

- *Maquina o pórtico tipo Smith, transductor lineal de velocidad, plataforma de salto, células fotoeléctricas y radar.* De acuerdo con lo descrito en los estudios previos.

***Entrenamientos***

El grupo de 14 jugadores realizó un periodo de entrenamiento de fuerza que consistió en tres ciclos de ocho semanas con dos sesiones por semana. Los ejercicios utilizados fueron sentadilla, salto vertical sin cargas, press de banca y tracciones. En primer lugar se entrenaban los ejercicios de sentadilla y press de banca y a continuación los de tracciones y saltos. Se realizaron tres series con la carga máxima de entrenamiento, más 2-3 series previas de calentamiento en cada ejercicio. En los ejercicios de sentadilla, press de banca y tracciones, el número de repeticiones por serie con la carga máxima del día osciló entre 4 y 8, mientras que en el ejercicio de saltos se realizaban series de 5 repeticiones con breves intervalos de descanso entre saltos dentro de cada serie. La intensidad absoluta (pesos) de entrenamiento se aplicó de manera individualizada, tomando como referencia los resultados de los tests previos al inicio de cada ciclo de entrenamiento. Estas intensidades se determinaron de la siguiente manera en los ejercicios de sentadilla, press de banca y tracciones:

- En el ejercicio de sentadilla, como se ha indicado en el apartado previo de “*evaluaciones...*”, se realizaba un test progresivo hasta llegar a la carga correspondiente a una velocidad de  $\sim 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Esta carga, que equivale de manera muy aproximada al 60% de la repetición máxima en este ejercicio (Sánchez-Medina et al., 2017), se tomaba como referencia para estimar el valor de la repetición máxima (RM) en el ejercicio y calcular la carga absoluta de entrenamiento de cada sujeto. En nuestro caso, la intensidad relativa inicial fue

aproximadamente del 40% de la RM. Esta carga se iba aumentando con una progresión muy suave en kilogramos hasta completar el ciclo de entrenamiento (ver tabla 4.1). La carga de  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se tomó también como referencia para la evaluación del efecto del entrenamiento.

- En el ejercicio de press de banca, el procedimiento fue semejante, pero llegando en el test progresivo hasta una velocidad igual o ligeramente inferior a  $0,62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , la cual se corresponde con  $\sim 70\%$  1RM en este ejercicio (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010). Esta carga se tomaba como referencia para estimar la RM en el ejercicio y para la programación de las cargas absolutas. La intensidad relativa inicial en este ejercicio fue aproximadamente del 50% de la RM. También en este caso se tomó como referencia la carga de  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  para la evaluación del efecto del entrenamiento.
- Para el ejercicio de tracciones, que se realizaba en una polea vertical, simulando un ejercicio de “dominadas”, en la primera sesión de entrenamiento se realizaba un test progresivo para comprobar cuál era la carga máxima con la que los sujetos podían hacer aproximadamente 10 repeticiones. Esta carga puede representar, como término medio,  $\sim 75\%$  de la RM del sujeto en el ejercicio. El peso inicial de entrenamiento era el alcanzado en el test, pero con menos de la mitad de las repeticiones posibles (e.g.: 4 repeticiones en lugar de 10) (tabla 4.1). A las cuatro semanas de entrenamiento se repetía el test para ajustar las cargas. Los tiempos de recuperación entre series eran de 2-3 minutos.

Todas las repeticiones de cada ejercicio con cargas se realizaban a la máxima o casi máxima velocidad posible para el sujeto, y en los saltos la altura debía ser la máxima posible.



Tabla 4.1 Ejemplo de entrenamiento programado correspondiente al primer ciclo

Semana	Día/sesión	Peso	Sentadilla	Salto	Peso	Press Banca	Tracciones
1ª	1	Peso inicial	3x4	3x5	Peso inicial	3x4	Test
	2	Peso inicial	3x4	3x5	Peso inicial	3x4	3x4
2ª	3	Peso inicial	3x6	3x5	Peso inicial	3x6	3x4
	4	Peso inicial	3x6	3x5	Peso inicial	3x6	3x4
3ª	5	Peso inicial	3x6	3x5	Peso inicial	3x6	3x6
	6	Peso inicial	3x6	3x5	Peso inicial	3x6	3x6
4ª	7	P. inicial+2'5/5	3x4	3x5	P.inicial+2'5/5	3x4	3x6
	8	P. inicial+2'5/5	3x4	3x5	P.inicial+2'5/5	3x4	3x6
5ª	9	P. inicial+2'5/5	3x4	3x5	P.inicial+2'5/5	3x4	Test
	10	P. inicial+2'5/5	3x4	3x5	P.inicial+2'5/5	3x4	3x4
6ª	11	P. inicial+2'5/5	3x6	3x5	P.inicial+2'5/5	3x6	3x4
	12	P. inicial+2'5/5	3x6	3x5	P.inicial+2'5/5	3x6	3x4
7ª	13	P. inicial+2'5/5	3x6	3x5	P.inicial+2'5/5	3x6	3x6
	14	P. inicial+2'5/5	3x6	3x5	P.inicial+2'5/5	3x6	3x6
8ª	15	P. inicial+2'5/5	3x4	3x5	P.inicial+2'5/5	3x4	3x6
	16	P. inicial+2'5/5	3x4	3x5	P.inicial+2'5/5	3x4	3x6

*Aclaraciones.* “Peso inicial” significa que el sujeto ha de entrenar con la carga inicial que se ha determinado según lo indicado en párrafos anteriores. Después de varias sesiones con este peso, en las que se produce un aumento de las repeticiones por serie, se eleva el peso en 2,5 o en 5 kg, según los pesos iniciales, reduciendo de nuevo las repeticiones por serie. En la última semana se reduce de nuevo el número de repeticiones por serie, con la intención de proporcionar una recuperación previa al test final. En los ciclos siguientes la evolución de las cargas es semejante, con un aumento algo superior de las cargas absolutas. Con este procedimiento, la intensidad relativa permanece bastante estable o aumenta ligeramente, aunque la carga absoluta tiende a aumentar de manera permanente durante todos los ciclos.

### Análisis estadístico

Los datos se presentan a través de la media y la desviación típica de los valores de las variables. Se aplicó el *coeficiente de correlación bivariado de Pearson* para comprobar la posible relación entre los cambios del rendimiento físico y los cambios en la velocidad de la bola. Las diferencias entre las distintas medidas a través del periodo de entrenamiento se contrastaron con un ANOVA de medidas repetidas. Como complemento del análisis de ANOVA, se calculó el tamaño del efecto (TE), con sus correspondientes intervalos de confianza del 95%. El tamaño del efecto es un indicador de la varianza explicada en la variable dependiente por el tratamiento o por la variable independiente. La fórmula utilizada fue la de Hedges (1985):

$$g = \frac{M_1 - M_2}{SD_{ponderada}},$$

donde  $M_1$  y  $M_2$  son las medias de los grupos y  $SD_{ponderada}$  es la desviación típica ponderada de las dos desviaciones típicas. Esta misma fórmula con el desarrollo de la desviación típica ponderada es la siguiente:

$$g = \frac{(M_2 - M_1)}{\sqrt{(((n_1 - 1) \cdot SD_1^2 + (n_2 - 1) \cdot SD_2^2) / (n_1 + n_2 - 2))}}$$

donde  $n$  = número de casos en cada grupo y  $SD$  la desviación típica de cada test.

Se consideró aceptable aquel tamaño del efecto en cuyo intervalo de confianza del 95% no apareciera el valor cero.

La relación entre variables y las diferencias entre medias se consideraron significativas si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ( $p \leq 0,05$ ).

### Resultados del Estudio 3

#### *Características de los sujetos*

Lo que caracterizó al grupo de participantes en este estudio fue la alta heterogeneidad del mismo (tabla 4.2). La edad osciló entre 12 y 19 años, el peso presentó un CV del 30,8% y, especialmente, la madurez tuvo una gran dispersión, con tres sujetos con valores negativos, dos con valores muy próximos a cero y dos con valores claramente positivos, lo que dio lugar a un CV de 221,7%.

Tabla 4.2 Características físicas de los participantes en el estudio (media  $\pm$  dt y coeficiente de variación: CV) n = 7

	Peso	Talla	Envergadura	Edad	Madurez
Media $\pm$ dt	53,6 $\pm$ 16,5	159,2 $\pm$ 8,3	162,3 $\pm$ 9,8	15,1 $\pm$ 2,2	0,74 $\pm$ 1,65
CV (%)	30,8	5,2	6,1	14,7	221,7

#### *Efecto del entrenamiento sobre las variables de condición física a través de los cinco tests.*

El rendimiento en las variables físicas a través de los cinco tests tiende a aumentar de manera continua en todos los casos, aunque no siempre de manera significativa estadísticamente. Cuando se aplica un ANOVA de medidas repetidas para el conjunto de los cinco tests, el CMJ mejora en el 5º test con respecto a los tests 1 y 2; las carreras solamente presentan una mejora significativa en el 5º test con respecto al test 3 en la distancia de 0-20 m; la sentadilla es la variable con mayor número de cambios positivos significativos: en todos los tests se mejora con respecto al test 1, en los tests 3 y 4 también con respecto al test 2 y en el test 5 con respecto a los tests 2 y 3; en el press de banca se producen cambios significativos en el test 5 con respecto a los tests 1 y 2 y en el test 4 con respecto al test 1 (tabla 4.3). Los cambios indicados se producen sin que se observaran diferencias significativas en el peso, aunque este aumentó desde 48,8  $\pm$  11,5 a 54  $\pm$  10,7 kg, ni en la talla, que también aumentó desde 157,6  $\pm$  7,7 a 164,3  $\pm$  7,3 cm. La edad media de los sujetos al inicio del periodo analizado era de 15,1  $\pm$  2,2 años.

Tabla 4.3 Evolución del rendimiento en las variables físicas a través de los cinco tests (media  $\pm$  dt)

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
CMJ	30,33 $\pm$ 8,5	30,73 $\pm$ 8,6	31,71 $\pm$ 7,1	32,5 $\pm$ 8,3	34,11 $\pm$ 7,3 <sup>*,#</sup>
Cambio (%)		1,3	4,5	7,2	12,5
0-10 m	1,88 $\pm$ 0,14	1,86 $\pm$ 0,11	1,85 $\pm$ 0,11	1,83 $\pm$ 0,11	1,81 $\pm$ 0,12
Cambio (%)		-1,1	-1,6	-2,7	-3,7
0-20 m	3,29 $\pm$ 0,26	3,27 $\pm$ 0,25	3,27 $\pm$ 0,22	3,19 $\pm$ 0,20	3,18 $\pm$ 0,21 <sup>&amp;</sup>
Cambio (%)		-0,6	-0,6	-3,0	-3,3
C <sub>1</sub> _sent	27,0 $\pm$ 21,5	32,9 $\pm$ 22,1 <sup>***</sup>	35,6 $\pm$ 20,7 <sup>***,#</sup>	38,9 $\pm$ 21,7 <sup>***,#</sup>	39,9 $\pm$ 20,7 <sup>***,##,&amp;</sup>
Cambio (%)		21,9	31,9	44,1	47,8
C <sub>1</sub> _PB	13,9 $\pm$ 9,0	15,3 $\pm$ 7,3	18,6 $\pm$ 7,8	20,6 $\pm$ 9,3 <sup>*</sup>	21,4 $\pm$ 8,5 <sup>*,#</sup>
Cambio (%)		10,1	33,8	48,2	54,0

CMJ: salto sin contramovimiento; C<sub>1</sub>\_sent: carga de 1 m·s<sup>-1</sup> en sentadilla; C<sub>1</sub>\_PB: carga de 1 m·s<sup>-1</sup> en press de banca. Cambio (%): cambio con respecto al test 1

\* = diferencias con respecto al test 1: \* p < 0,05; \*\*\* p < 0,001

# = diferencias con respecto al test 2: # p < 0,05; ## p < 0,01

& = diferencias con respecto al test 3: & p < 0,05

Tabla 4.4 Valores de tamaño del efecto (TE) en los que no aparece el valor cero en el intervalo de confianza del 95% de las diferencias de medida, y solamente en aquellas comparaciones de pares de tests en los que no se dieron diferencias significativas al aplicar el ANOVA de medidas repetidas: TE (IC-95%).

	Test 4	Test 5
CMJ	0,29 (0,11; 0,47) <sup>*</sup> 0,22 (0,06; 0,37) <sup>&amp;</sup>	0,4 (0,17; 0,36) <sup>&amp;</sup>
0-10 m		0,46 (0,07; 0,85) <sup>*</sup> 0,48 (0,14; 0,81) <sup>#</sup> 0,42 (0,12; 0,72) <sup>&amp;</sup>
0-20 m	0,43 (0,13; 0,72) <sup>*</sup> 0,44 (0,17; 0,71) <sup>&amp;</sup>	0,42 (0,17; 0,66) <sup>*</sup> 0,45 (0,17; 0,72) <sup>#</sup> 0,4 (0,2; 0,6) <sup>&amp;</sup>
C <sub>1</sub> _sent	0,38 (0,18; 0,58) <sup>&amp;</sup>	
C <sub>1</sub> _PB	0,46 (0,11; 0,81) <sup>#</sup> 0,44 (0,15; 0,73) <sup>&amp;</sup>	0,58 (0,14; 1,02) <sup>#</sup> 0,46 (0,15; 0,76) <sup>&amp;</sup>

CMJ: salto sin contramovimiento; C<sub>1</sub>\_sent: carga de 1 m·s<sup>-1</sup> en sentadilla; C<sub>1</sub>\_PB: carga de 1 m·s<sup>-1</sup> en press de banca

\* = TE con respecto al test 1; # = TE con respecto al test 2; & = TE con respecto al test 3.

Además del análisis de medidas repetidas, se calculó el tamaño del efecto (TE) de aquellas comparaciones de tests que no fueron significativas en el ANOVA de medidas repetidas. El criterio para incluir el valor del TE para el análisis fue la no aparición del

valor cero en el intervalo de confianza del 95% de las diferencias de medidas (tabla 4.4). En el CMJ, aparte de las diferencias significativas indicadas en la tabla 4.3, se añaden tres valores de TE que cumplen con el requisito. En la variable 0-10 m, que no presentó ninguna diferencia significativa en el ANOVA, se incluyen tres valores de TE en el test 5. En la variable 0-20 m se añaden cinco valores de TE, tres en el test 5 y dos en el test 4. En la sentadilla y en el press de banca se añaden uno y cuatro valores de TE, respectivamente, en los tests 4 y 5.

***Efecto del entrenamiento sobre las variables de rendimiento específico a través de los cinco tests.***

En ninguno de los tres golpes ni en la precisión de estos se observaron cambios significativos. La velocidad media en el saque y la precisión permanecieron muy estables. En los golpes de derecha, especialmente, y de revés se observó una tendencia no significativa estadísticamente al aumento de la velocidad (tabla 4.5).

En relación con los TE, en el golpe de derecha, en el test 5 [TE = 0,5 (IC-95% = 0,13; 0,87)], en el 4 [0,44 (0,07; 0,81)] y en el 3 [0,43 (0,12; 0,74)] se encontraron TE que cumplieran los requisitos descritos previamente, y en el revés se cumplieron los criterios en el test 4 con respecto al test 1 [0,74 (0,22; 1,25)].

Tabla 4.5 Evolución de la velocidad media en los tres golpes y de la precisión de estos a través de los cinco tests (media  $\pm$  dt)

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Saque	132,4 $\pm$ 22,4	131,8 $\pm$ 18,1	133,6 $\pm$ 17,2	132,5 $\pm$ 18,0	133,5 $\pm$ 17,5
Cambio (%)		-0,5	0,9	0,1	0,8
Derecha	110,2 $\pm$ 14,8	115,5 $\pm$ 17,7	117,2 $\pm$ 11,3	117,6 $\pm$ 14,2	120,1 $\pm$ 18,3
Cambio (%)		4,8	6,4	6,7	9,0
Revés	103,8 $\pm$ 10,7	104,6 $\pm$ 12,8	106,9 $\pm$ 9,4	109,4 $\pm$ 9,8	105,0 $\pm$ 11,9
Cambio (%)		0,8	3,0	5,4	1,2
Prec <sup>1</sup> _Saque	0,36 $\pm$ 0,05	0,36 $\pm$ 0,12	0,37 $\pm$ 0,07	0,42 $\pm$ 0,10	0,39 $\pm$ 0,11
Cambio (%)		0,0	2,8	16,7	8,3
Prec_Derecha	0,70 $\pm$ 0,11	0,65 $\pm$ 0,12	0,57 $\pm$ 0,14	0,64 $\pm$ 0,14	0,65 $\pm$ 0,14
Cambio (%)		-7,1	-18,6	-8,6	-7,1
Prec_Revés	0,59 $\pm$ 0,12	0,59 $\pm$ 0,06	0,62 $\pm$ 0,13	0,61 $\pm$ 0,17	0,61 $\pm$ 0,15
Cambio (%)		0,0	5,1	3,4	3,4

1: Prec: precisión.

Además, se observaron algunas relaciones relevantes entre los cambios de algunas variables físicas y los cambios de la velocidad de la bola entre algunos de los tests con respecto al test inicial. Dado el escaso número de participantes, hemos considerado un grado mínimo de varianza explicada del 25% ( $r \geq 0,5$ ) para la selección de las correlaciones que deberían tenerse en cuenta en el análisis (tabla 4.6).

Tabla 4.6 Correlaciones con un valor igual o superior a 0,5 entre los cambios de distintas variables físicas y los cambios en la velocidad de la bola en los tres golpes entre los distintos tests con respecto al test inicial.

Cambios en las variables físicas	Cambios en distintas variables en el T_2	Cambios en distintas variables en el T_3	Cambios en distintas variables en el T_5
Cambios en 0_10 m	C_V_máx_S ( $r = -0,67$ ; $p = 0,1$ )		C_V_med_R ( $r = -0,6$ ) C_V_máx_R ( $r = -0,67$ ; $p = 0,1$ )
Cambios en 0_20 m	C_V_máx_S ( $r = -0,8$ ; $p < 0,05$ ) C_V_med_S ( $r = -0,52$ )		
Cambios en CMJ	C_V_med_R ( $r = 0,5$ ) C_V_máx_R ( $r = 0,6$ )		C_V_med_S ( $r = 0,7$ ; $p = 0,088$ ) C_V_máx_S ( $r = 0,78$ ; $p < 0,05$ )
Cambios en Sentadilla		C_V_med_S ( $r = 0,55$ ) C_V_med_D ( $r = 0,62$ ) C_V_máx_D ( $r = 0,53$ ) C_V_med_R ( $r = 0,51$ ) C_V_máx_R ( $r = 0,6$ )	
Cambios en Press de Banca	C_V_med_S ( $r = 0,92$ ; $p < 0,001$ ) C_V_máx_S ( $r = 0,52$ )		

C\_V\_máx\_S: cambios en la velocidad máxima en el saque; C\_V\_med\_S: cambios en la velocidad media en el saque; C\_V\_máx\_D: cambios en la velocidad máxima en el golpe de derecha; C\_V\_med\_D: cambios en la velocidad media en el golpe de derecha; C\_V\_máx\_R: cambios en la velocidad máxima en el golpe de revés; C\_V\_med\_R: cambios en la velocidad media en el golpe de revés.

Los gráficos de las correlaciones más elevadas y significativas estadísticamente se presentan en la figura 4.1.

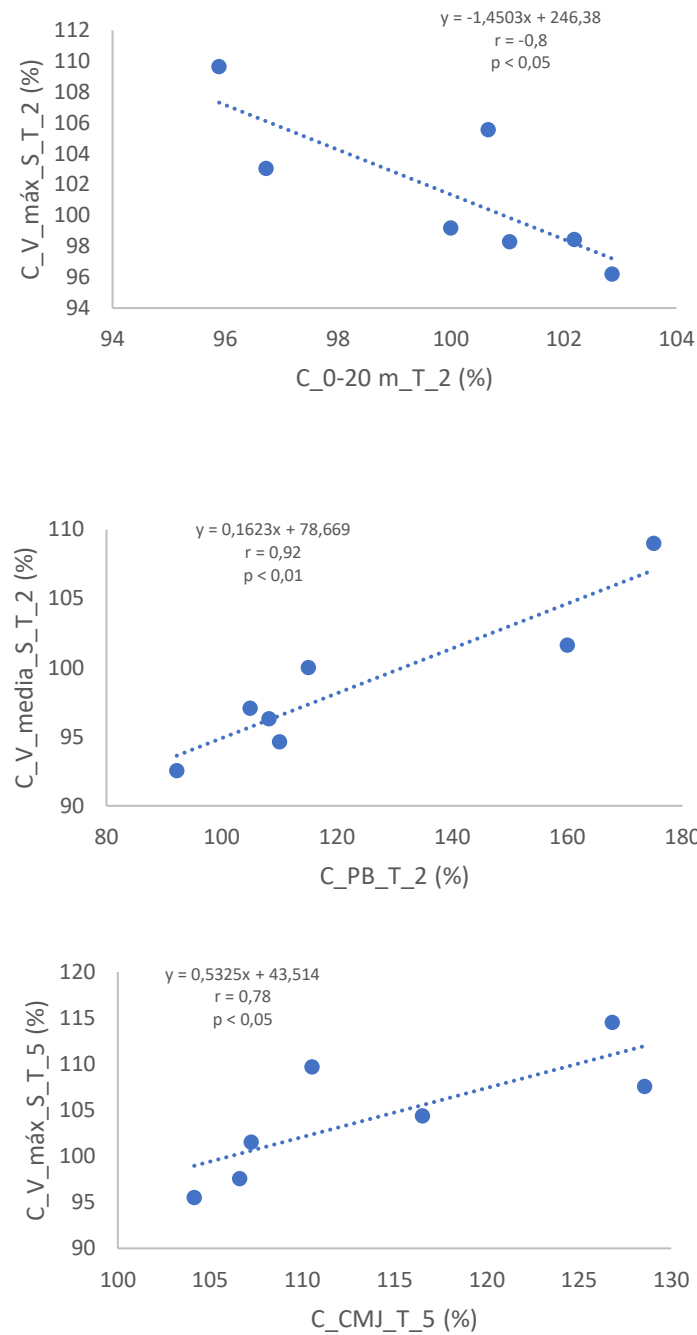


Figura 4.1 Relación entre los cambios del tiempo en 0-20 m (C\_0-20 m\_T\_2) y la velocidad máxima del saque en el T\_2 (C\_V\_máx\_S\_T\_2) (figura superior), los cambios en press de banca (C\_PB\_T\_2) y los cambios en la velocidad media del saque en el T\_2 (C\_V\_med\_S\_T\_2) (figura central) y los cambios en el CMJ (C\_CMJ\_T\_5) y los cambios en la velocidad máxima del saque en el T\_5 (C\_V\_máx\_S\_T\_5) (figura inferior).

### Discusión del Estudio 3

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico y la velocidad de la bola en los golpes de saque, derecha y revés en cinco tests sucesivos, así como comprobar la posible relación entre los cambios de las variables físicas y de rendimiento en los golpeos. Para ello se llevó a cabo la aplicación de un entrenamiento de fuerza en tres periodos de ocho semanas, con un intervalo de tiempo de tres meses y medio entre el primero y el segundo periodo y un mes entre el segundo y el tercero.

#### *Rendimiento en las variables físicas*

El rendimiento en las variables físicas a través de los cinco tests aumentó en términos absolutos de manera continua en todos los casos, aunque no siempre de manera significativa estadísticamente (tabla 4.3). El CMJ mejoró en el 5º test con respecto a los tests 1 y 2. El test de 0-20 m mejoró de manera significativa en el 5º test con respecto al test 3. La sentadilla mejoró en todos los tests con respecto al test 1, en los tests 3 y 4 con respecto al test 2 y en el test 5 con respecto a los tests 2 y 3. En el press de banca se produjeron cambios significativos en el test 5 con respecto a los tests 1 y 2 y en el test 4 con respecto al test 1 (tabla 4.3). Los cambios indicados se producen sin que se observaran cambios significativos ni en el peso corporal ni en la talla. Algunos cambios positivos sustanciales y significativos desde el punto de vista práctico, como una mejora del 4,5 y 7,2% en CMJ, del 2,7 y 3,7% en 0-10 m o del 3% en 0-20 m, no resultaron significativos estadísticamente debido al escaso número de sujetos. Sin embargo, además de las diferencias significativas indicadas previamente, encontramos 11 tamaños del efecto (TE) sin ceros en el intervalo de confianza del 95% repartidos de la siguiente forma: en CMJ (3 TE), 0-10 (3 TE) y 0-20 m (5 TE) (tabla 4.4). Hemos de considerar que los intervalos de tiempo entre los tres ciclos de entrenamiento podrían haber provocado una pérdida parcial de los efectos del ciclo anterior.

En algunos estudios con tenistas se ha analizado el efecto del entrenamiento sobre algunos indicadores de condición física, pero las comparaciones con nuestros resultados deben ser matizadas debido al tipo de entrenamiento realizado en los distintos estudios y a la forma de medir algunas variables. Se observaron mejoras significativas en mujeres tenistas de ~19 años a los 4, 6 y 9 meses de entrenamiento en la fuerza de las piernas, en los miembros superiores y en la capacidad de salto (Kraemer et al., 2000), pero el entrenamiento llevado



a cabo fue con repeticiones máximas (hasta el fallo muscular) en cada serie: el grupo de entrenamiento “periodizado” realizó de 4 a 15RM, y el de “no periodizado”, que entrenó en forma de circuito, realizó 8-10RM de manera permanente. Además, la fuerza de las piernas se midió con 1RM en prensa y los saltos se valoraron por la diferencia entre las marcas alcanzadas con la mano pre-post salto, lográndose alturas de salto muy elevadas (40-60 cm), que no se pueden comparar con ningún salto en el que el rendimiento se haya estimado a través del tiempo de vuelo. Resultados semejantes se obtuvieron en otro estudio con mujeres de la misma edad, durante el mismo tiempo y la misma metodología de entrenamiento: 4-15RM para el grupo “periodizado” y 8-10RM de manera permanente para el “no periodizado”, así como la misma metodología para medir el salto (Kraemer et al., 2003), pero en este caso, además se midió el tiempo en recorrer 10 y 20 m, no observándose cambios significativos en estas pruebas en ninguno de los tres momentos (4, 6 y 9 meses) de medida. Aunque estos resultados estén en línea con los obtenidos por nosotros, no permite una comparación directa, ya que el tipo de entrenamiento y la forma de medir el salto y la fuerza de las piernas difieren claramente de lo que se hizo en nuestro trabajo. Resultados semejantes a los nuestros, en relación con la capacidad de salto y la carrera, se obtuvieron a través de un entrenamiento de jugadores de tenis jóvenes (12-13 años) basado en ejercicios de los habitualmente denominados como pliométricos (Fernández-Fernández et al., 2016). En este caso, además del tipo de entrenamiento realizado, encontramos diferencias en la forma de valoración del resultado del salto, ya que en este estudio se toma el mejor de dos saltos, mientras que en nuestro caso se elimina precisamente el mejor, y el peor, de cinco saltos, hallándose la media de los tres centrales para determinar el resultado del test.

Por tanto, las mejoras que hemos encontrado en nuestro estudio no vienen más que a confirmar que tenistas jóvenes masculinos e incluso mujeres de ~19 años pueden mejorar su rendimiento en capacidad de salto, carrera y fuerza de las piernas y de los miembros superiores. Sin embargo, lo relevante de nuestro trabajo con respecto a los demás, ha sido el grado de carga que ha provocado los cambios de rendimiento. En nuestro caso, la intensidad relativa utilizada fue muy pequeña, empezando con una carga equivalente al 40 y al 50% de 1RM en sentadilla y press de banca, respectivamente, y finalizando con menos de 60% en sentadilla y del 70% en press de banca. Además, con estas intensidades se hicieron muchas menos repeticiones de las posibles en la serie. Esto significa que la intensidad relativa fue muy baja y la fatiga generada en la serie también. En estudios

previos se ha comprobado que entrenando con intensidades relativas y grado de fatiga en la serie (número de repeticiones realizado en la serie) semejantes a los nuestros se han obtenido efectos muy positivos en la fuerza de las piernas, en la capacidad de salto (CMJ) y en la aceleración (0-20 m) en deportistas (jugadores de fútbol) de edades semejantes (Franco-Márquez et al., 2015; González-Badillo et al., 2015; Rodríguez-Rosell et al., 2016). En el estudio de Franco-Márquez et al. (2015), la medición de la velocidad de ejecución ante las mismas cargas absolutas antes y después del entrenamiento permitió comprobar que la mitad de los sujetos ( $n = 10$ ) entrenó en regresión con respecto a las intensidades relativas. Es decir, empezaron a entrenar con una intensidad relativa del 45% y la última sesión la hicieron con intensidades relativas inferiores a esta intensidad, a pesar de que la carga absoluta aumentó de manera continua cada 2-4 sesiones de entrenamiento. Resultados semejantes se obtuvieron en el estudio de Rodríguez-Rosell et al. (2016). Esto indica que, al igual que en nuestro estudio, no solo la intensidad relativa puede ser muy reducida, sino que incluso puede tener una tendencia a la disminución a través del ciclo de entrenamiento siempre que la intensidad absoluta tienda a aumentar. En el estudio de González-Badillo et al. (2015), la metodología y los resultados fueron semejantes a los de los otros dos estudios, pero el efecto positivo del entrenamiento sobre el rendimiento en la fuerza de piernas, el CMJ y la carrera se prolongó durante un periodo de siete meses de entrenamiento. Estos datos vienen a confirmar que las cargas hasta el agotamiento (Kraemer et al., 2000 y 2003) no son necesarias para obtener efectos positivos sobre el rendimiento en fuerza, como ya ha sido observado también en otros estudios con distintos sujetos y periodos de entrenamiento (Folland, et al., 2002; Izquierdo, Ibáñez et al., 2006; Sampson & Groeller, 2016; Drinkwater, et al., 2007; Willardson, et al., 2008; Pareja-Blanco et al., 2017). Habiéndose observado que llegar próximo al fallo muscular con cargas comprendidas entre el 70 y el 85% de la 1RM produjo un efecto negativo para el rendimiento en carrera, mientras que hacer aproximadamente la mitad de las repeticiones posibles en la serie mejoró el rendimiento en carrera incluso sin haber entrenado dicho ejercicio (Pareja-Blanco et al., 2017), lo cual podría explicar la discrepancia entre el estudio de Kraemer et al. (2003) y el nuestro con respecto al rendimiento en los tiempos de 0-10 y 0-20 m, ya que en dicho estudio no se observó ningún cambio significativo en la carrera a pesar de haber mejorado la RM de las piernas y el CMJ.

Los efectos positivos del entrenamiento, tanto sobre los ejercicios que consideramos “de fuerza” (sentadilla y press de banca), como sobre los demás (que también son “de fuerza”,

naturalmente, aunque a veces se les llame de otra manera) se deben a una mejora del pico máximo de fuerza aplicada y de la producción de fuerza en la unidad de tiempo (RFD), ante las cargas con las que se midió el efecto del entrenamiento: cargas que se podían desplazar a  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en sentadilla y press de banca y velocidad máxima alcanzada ante la misma carga (peso corporal) al saltar y al correr. Esto es así porque las mejoras de la fuerza aplicada ante la misma carga absoluta se traducen, necesariamente, en mayor velocidad ante dicha carga. Esta afirmación se basa en la segunda Ley de Newton y en la igualdad entre el impulso y el movimiento lineal, ecuación en la que, despejando la velocidad, resulta que esta es igual a:  $v = \frac{F \cdot t}{m}$ , donde la masa ( $m$ ) es estable y el tiempo ( $t$ ) ha de reducirse necesariamente al aumentar la velocidad para una misma distancia (distancia de aplicación de fuerza, que también es estable para una misma técnica), luego la única posibilidad de mejorar la velocidad ( $v$ ) es que aumente la fuerza aplicada ( $F$ ) cada vez en menos tiempo, lo que supone, necesariamente, una mayor RFD.

Por otra parte, dado que el número de repeticiones por serie realizado en el entrenamiento fue muy bajo con respecto a las repeticiones que se podrían haber hecho en la serie (González-Badillo et al., 2017), lo cual genera escasa fatiga en cada serie (González-Badillo et al., 2017; Rodríguez-Rosell et al., 2018), y además por haber hecho todas las repeticiones a la máxima velocidad posible, es probable que se haya mantenido el porcentaje de fibras IIX, o incluso que hubiera aumentado el porcentaje global de IIA y IIX (Pareja-Blanco et al., 2017). Esto significa que, desde el punto de vista fisiológico, los efectos positivos del entrenamiento han debido ser provocados por un reclutamiento e hipertrofia muscular selectiva de fibras rápidas y, muy especialmente, por los cambios de tipo neural: frecuencia de estímulo, sincronización, reclutamiento de fibras rápidas y coordinación intermuscular.

En síntesis, nuestros resultados sugieren que un entrenamiento de muy poca carga (intensidad y volumen) puede ser positivo para jugadores de tenis de las características de los participantes en nuestro estudio, evitando el riesgo de lesión durante el propio entrenamiento, al mismo tiempo que se reduce o se elimina la posible interferencia sobre las acciones específicas, y, por el contrario, puede ser muy favorable para la realización de acciones a alta velocidad, las cuales son determinantes en acciones específicas de desplazamientos y cambios de dirección en distancias cortas.

***Efecto del entrenamiento sobre las variables de rendimiento específico a través de los cinco tests.***

En ninguno de los tres golpes ni en la precisión de estos se observaron cambios significativos. En el saque, la velocidad media y la precisión permanecieron muy estables. En los golpes de derecha, especialmente, y de revés se observó una tendencia no significativa al aumento de la velocidad (tabla 4.5). El análisis del TE presentó valores sin aparición del cero en el intervalo de confianza del 95% con respecto al test 1 en los siguientes casos: en el golpe de derecha se dio en el test 5 [TE = 0,5 (intervalo de confianza del 95%: 0,13; 0,87)], en el 4 [0,44 (0,07; 0,81)] y en el 3 [0,43 (0,12; 0,74)], y en el revés en el test 4 [0,74 (0,22; 1,25)].

Además, se observaron algunas relaciones relevantes entre los cambios de algunas variables físicas y los cambios de la velocidad de la bola entre algunos de los tests con respecto al test inicial. Dado el escaso número de participantes, hemos considerado un grado mínimo de varianza explicada del 25% ( $r \geq 0,5$ ) para la selección de las correlaciones que deberían tenerse en cuenta en el análisis, aunque no aparecieran siempre significativas estadísticamente (ver tabla 4.6 y texto posterior a dicha tabla).

En estudios previos se ha observado que la realización de un programa de entrenamiento de fuerza con jugadores ( $n = 15$ ) y jugadoras ( $n = 5$ ) de unos 15 años de media, de ocho semanas de duración, con tres días de entrenamiento por semana, con un grupo que entrenó con cargas (pesas) y otro con lanzamientos de balones y gomas, tuvo efecto positivo sobre la velocidad de saque, especialmente en el grupo que entrenó con pesas, y la velocidad del golpe de derecha, especialmente en el grupo que entrenó con lanzamientos y gomas, pero no se observaron diferencias en el revés, mientras que el grupo de control no experimentó cambios significativos (Terraza et al., 2017). Resultados similares se observaron en relación con la mejora de la velocidad de saque (Fernández-Fernández et al., 2013) en un estudio con jugadores de 13 años de media, después de seis semanas de entrenamiento, tres días por semana, con gomas y lanzamientos de balón, aunque no se apreciaron cambios en la precisión de los golpes. En relación con la velocidad del golpe de derecha, Genevois et al. (2013) encontraron mejoras significativas de la velocidad de este golpe (11%) cuando sujetos adultos (26,9 años de media) entrenaron, durante seis semanas, lanzando un balón medicinal (2, 3 o 4 kg) y también cuando realizaron el gesto de golpeo con raquetas con sobrecarga (30 g) que representaba el 11,15% de media del peso de la raqueta.

Las comparaciones de nuestros resultados con estos estudios nos invitan a pensar que la utilización de ejercicios relacionados con lanzamientos de balón simulando acciones específicas, así como acciones específicas con sobrecarga, probablemente deberían ser incluidos en un entrenamiento con ejercicios que se podrían considerar como “no específicos”, aun siendo estos efectivos para el rendimiento en fuerza, como son los empleados en nuestro estudio. Sin embargo, nuestros resultados permiten obtener información precisamente sobre el efecto de ejercicios que, no siendo considerados como “específicos”, ponen de manifiesto que su efecto sobre la mejora de la capacidad de rendimiento físico, especialmente en la capacidad de producción de fuerza en la unidad de tiempo en acciones realizadas a alta velocidad, sí presenta relación con los cambios que se producen en el rendimiento en la velocidad de los golpes.

En principio, es razonable aceptar que los cambios en el rendimiento en un determinado golpe deben estar muy relacionados, y depender fundamentalmente, de la propia práctica del golpe durante los entrenamientos. En el caso del saque, al tratarse de un ejercicio que hay que entrenar de manera específica y, en parte, separada del resto del entrenamiento, dedicando solamente una parte de la sesión a este golpe, el número de veces que se realiza habitualmente en los entrenamientos en comparación con la derecha y el revés es claramente muy inferior. Este hecho podría haber servido como la explicación de haber obtenido un efecto prácticamente nulo en nuestro estudio sobre este tipo de golpe. Pero dado que este resultado no se ha observado en los estudios mencionados anteriormente, habría que admitir que las mejoras de la velocidad en dichos estudios se deben a que aplicaron otro tipo de entrenamiento de fuerza. Por tanto, si aceptamos esta hipótesis, tendríamos que concluir que el entrenamiento de fuerza realizado en nuestro trabajo no ha tenido efecto sobre la velocidad de ejecución de este golpe. Sin embargo, podemos observar que en siete ocasiones se produce una correlación con un valor  $\geq 0,5$  entre los cambios de distintos rendimientos físicos y los cambios en la velocidad de golpeo en el saque (tabla 4.6). De ellas destacan tres que fueron relaciones significativas estadísticamente en el golpe de saque: los cambios en la velocidad máxima y los cambios en 0-20 m ( $r = -0,8$ ;  $p < 0,05$ ) y en CMJ ( $r = 0,78$ ;  $p < 0,05$ ), y los cambios en la velocidad media y los cambios en press de banca ( $r = 0,92$ ;  $p < 0,001$ ).

Para entender el significado de estas relaciones, se debe tener en cuenta que es muy distinto que exista relación entre los valores directos de dos variables de que esta relación se dé entre los cambios de dichas variables. La relación entre las puntuaciones directas de

dos variables puede mantenerse prácticamente con el mismo valor antes y después de un periodo de entrenamiento, lo cual no solo es normal que ocurra, sino que así debería ocurrir siempre si la relación entre dichas variables es real. Sin embargo, podría ser prácticamente nula la relación entre los cambios de ambas variables pre-post entrenamiento, lo cual significaría que los cambios de una de ellas no sean concomitantes con los de la otra, lo cual suele ser frecuente. Pero si se da relación entre los cambios, nos estaría indicando que cuanto mayor es el cambio en una de las variables mayor tiende a serlo en la otra, tanto si los cambios se dan en el mismo sentido (correlación positiva) como si son en sentido contrario (correlación negativa). Por ejemplo, si consideramos las variables “cambios en la fuerza en el ejercicio en el press de banca” y “cambios en la velocidad de golpeo” en el saque, y observamos que entre sus cambios pre-post entrenamiento se da una correlación de  $r = 0,92$  ( $p < 0,001$ ), estamos en disposición de poder admitir que en este caso existe una relación causa-efecto entre ambos cambios, y que, por consiguiente, una mejora en la fuerza en el press de banca se puede traducir o puede contribuir a la mejora en la velocidad de la bola en el saque, lo que sugiere una posible transferencia de la fuerza adquirida en el press de banca a la velocidad de la bola en el saque. Este tipo de cambios en el rendimiento pre-post entrenamiento de dos variables se ha producido en otras ocasiones, como por ejemplo en un estudio sobre futbolistas juveniles, en el que, después de un entrenamiento semejante al utilizado en nuestro caso, los cambios en el CMJ presentaron correlación positiva significativa ( $r = 0,92$ ;  $p < 0,01$ ;  $n = 7$ ) con los cambios en los tiempos en 15 metros de carrera (Gorostiaga et al., 2004).

Un comportamiento semejante se observó en los golpes de derecha y de revés, con un total de ocho casos en los que los cambios en los rendimientos físicos presentaron correlaciones  $\geq 0,5$  con los cambios en la velocidad de la bola (Tabla 4.6). El golpe de derecha presentó dos relaciones con la sentadilla, y el golpe de revés, dos con sentadilla, dos con el tiempo en 0-10 m y dos con el CMJ. Como se puede observar, todas las variables de rendimiento físico que presentaron estas correlaciones son dependientes de la fuerza de las piernas: sentadilla completa, salto y aceleración en carrera. Estos resultados son coherentes con los encontrados en el Estudio 2, y son explicados en parte por ellos. En dicho estudio se dedujo que la capacidad de las piernas para aplicar fuerza en la unidad de tiempo era muy relevante para el rendimiento del tenista, no solo en los desplazamientos, sino en las acciones específicas de golpeo, y esta sugerencia se basaba

en la propia relación del esprint con la  $C_{1\_sent}$  (tabla 3.3 del Estudio 2), que se mantenía prácticamente inalterable cuando se controlaban todas las variables. Es decir, la fuerza de las piernas, tanto si se expresa a través de la  $C_{1\_sent}$ , como si se hace a través de la capacidad de aceleración, e incluso por la altura del salto, parece ser relevante para el rendimiento en el tenis.

Ninguna de estas relaciones puede ser comparada con otros estudios, ya que en ninguno de los trabajos experimentales sobre tenis encontrados se realizó un análisis de los cambios entre variables. Consideramos que esto es una deficiencia de las investigaciones que pretenden explicar el rendimiento en cualquier deporte, ya que no se trata solo de comprobar si un nivel de una variable independiente o un tipo de entrenamiento es más efectivo que otro, sino de profundizar en el análisis de la posible causa del cambio de una determinada variable. Por tanto, además de lo que aporta la aplicación de las correlaciones parciales, como hemos indicado en los dos estudios anteriores, el análisis de la correlación entre los cambios de las variables contribuye de manera notable a la mejora de la interpretación de los datos derivados de cualquier estudio que pretenda explicar el rendimiento deportivo.

Nuestros resultados nos permiten afirmar que el entrenamiento realizado ha producido una mejora significativa en la fuerza de los jugadores y en la capacidad de salto y aceleración, lo que viene a confirmar nuestra primera hipótesis. Estas mejoras no se han traducido en la mejora de la velocidad de la bola de manera significativa, como proponíamos, pero en varios casos se ha observado una relación suficiente entre los cambios de las variables de rendimiento físico y los cambios en la velocidad de la bola, lo que confirma parcialmente nuestra segunda hipótesis.

### **Conclusiones del Estudio 3**

Nuestros resultados sugieren que un entrenamiento con una intensidad relativa máxima igual o inferior al 60-70% de la RM, con muy baja fatiga (haciendo menos de la mitad de las repeticiones posibles en la serie), ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible y realizando ejercicios considerados como “no específicos” (sentadillas y press de banca), es positivo para la mejora de la fuerza y el rendimiento en velocidad de desplazamiento y salto en jugadores de tenis de las características de los participantes en nuestro estudio.

El entrenamiento de fuerza aplicado en nuestro estudio no produjo cambios estadísticamente significativos en la velocidad de golpeo, pero los cambios en la fuerza de los miembros superiores e inferiores, en el CMJ y en el tiempo en 0-20 m presentaron en varios tests una tendencia a cambiar de manera concomitante con los cambios en la velocidad de la bola en el saque, la derecha y el revés.



### **Aplicaciones prácticas del Estudio 3**

Si se pretende mejorar la fuerza de los miembros superiores e inferiores, así como la capacidad de desplazamiento y de salto en tenistas jóvenes, menores de 20 años, sería recomendable que se utilizaran entrenamientos de las características del aplicado en este estudio. Este tipo de entrenamiento es probable que evite el riesgo de lesión durante el propio entrenamiento, al mismo tiempo que se reduce o se elimina la posible interferencia sobre las acciones específicas, y, por el contrario, puede ser muy favorable para la realización de acciones a alta velocidad, las cuales son determinantes en acciones específicas de desplazamientos y cambios de dirección en distancias cortas en el tenis.

En el análisis de los efectos del entrenamiento sobre la velocidad de la bola siempre se debería estudiar la posible relación entre los cambios de las variables de rendimiento físico y los de la velocidad de la bola.

### **Limitaciones del Estudio 3**

La principal limitación de este estudio ha estado en el escaso número de participantes, lo que dificulta alcanzar una alta confianza en los resultados y encontrar diferencias estadísticamente significativas.

La necesidad de realizar siempre el entrenamiento de fuerza después del entrenamiento específico y el poco tiempo disponible para entrenar obligaron a reducir el número de ejercicios a realizar, y especialmente, ha podido influir de manera negativa en el propio efecto del entrenamiento sobre fuerza, ya que este ha podido estar afectado por el gasto energético previo y la fatiga acumulada en el entrenamiento específico, lo cual disminuye la capacidad de aplicación de fuerza en la unidad de tiempo, tanto en los miembros superiores como, especialmente, en las piernas, las cuales son sometidas, habitualmente, a una alta carga de trabajo en la actividad específica, que en este caso, como se ha indicado, fue previa a la realización del entrenamiento de fuerza.

## Bibliografía

- Bahamonde, R. E. (1997). Joint power production during flat and slice tennis serves. In: 15th International Symposium on Biomechanics in Sports. Denton, tx., pp. 489–494.
- Cohen, D. B., M. Mont, M. A., Campbell, K. R., Vogelstein, B. N., & Loewy, J. W. (1994) Upper extremity physical factors affecting tennis serve velocity. *Am. J. Sportsmed*, 22, 746–750.
- Drinkwater, E. J., Lawton, T. W., McKenna, M. J., Lindsell, R. P., Hunt, P. H., & Pyne, D. B. (2007). Increased number of forced repetitions does not enhance strength development with resistance training. *J Strength Cond Res*, 21(3), 841-847.
- Ellenbecker, T. S., Daviesg, J., & Rowinskmi, J. (1988). Concentric versus eccentric isokinetic strengthening of the rotator cuff: objective data versus functional test. *American Journal of Sports Medicine*, 16, 64-68.
- Elliott, B. C., Marshall, R. N., & Noffal, G. (1995). Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. *J. Appl. Bio- Mech*. 11, 433–442.
- Elliott, B., Fleisig, G., Nicholls, R., & Escamilla, R. (2003). Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. *J Sci Med Sport*, 6, 76– 87.
- Euon, B., Mester, J., Kteinoder, H., & Yue, Z. (2003). Loading and stroke production. In B. Elliott, M. Reid, & M. Crespo (Eds.), *Biomechanic Advanced Tennis*. Washington, International Tennis Federation. (pp. 93-107).
- Fernández-Fernández, J., Ellenbecker, T., Sanz-Rivas, D., Ulbricht, A., & Ferrauti, A. (2013). Effects of a 6-week junior tennis conditioning program on service velocity. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, 232-239
- Fernández-Fernández, J., Sáez de Villareal, E., Sanz-Rivas, D., & Moya, M. (2016). The effects of 8-week plyometric training on physical performance in young tennis players. *Pediatric Exercise Science*, 28, 77 -86.
- Folland, J. P., Irish, C. S., Roberts, J. C., Tarr, J. E., & Jones, D. A. (2002). Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training. *Br J Sports Med*, 36(5), 370-373; discussion 374.
- Franco-Marquez, F., Rodriguez-Rosell, D., Gonzalez-Suarez, J. M., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2015). Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players. *Int J Sports Med*, 36(11), 906-914.
- Genevois, C., Reid, M., Rogowski, I., & Crespo, M. (2015). Performance Factors Related to the Different Tennis Backhand Groundstrokes: A Review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14, 194-202.
- Girard, O., Micallef, J. P., & Millet, G. P. (2005). Lower limb activity during the power serve in tennis: effects of performance level. *Med. Sci. Sports Exerc*, 37, 1021–1029.
- Gonzalez-Badillo, J. J., & Sanchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*, 31(5), 347-352.

- Gonzalez-Badillo, J. J., Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Abad-Herencia, J. L., Del Ojo-Lopez, J. J., & Sanchez-Medina, L. (2015). Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *J Strength Cond Res*, 29(5), 1329-1338
- Gonzalez-Badillo, J. J., Yanez-Garcia, J. M., Mora-Custodio, R., & Rodriguez-Rosell, D. (2017). Velocity Loss as a Variable for Monitoring Resistance Exercise. *Int J Sports Med*, 38(3), 217-225.
- Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Ruesta, M., Iribarren, J., Gonzalez-Badillo, J. J., & Ibanez, J. (2004). Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 91(5-6), 698-707.
- Gropper, J. L. (1992). *High tech tennis*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hedges L.V. and I. Olkin (1985). *Statistical methods for Meta-Analysis*. Orlando, Florida. Academic Press
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., . . . Gorostiaga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* (1985), 100(5), 1647-1656.
- König, D., Huonker, M., Schmid, A., Halle, M., Berg, A., & Keul, J. (2001). Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. *Med Sci Sports Exerc*, 33, 654–8.
- Kraemer, W. J., Ratamess, N., Fry, A. C., Triplett-McBride, T., Koziris, L. P., Bauer, J. A., . . . Fleck, S. J. (2000). Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. *Am J Sports Med*, 28(5), 626-633
- Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Triplett-Mcbride, N. T., Fry, A. C., Koziris, L. P., Ratamess, N. A., Bauer, J. E., Volek, J. S., McConnell, T., Newton, R. U., Gordon, S. E., Cummings, D., Hauth, J., Pullo, F., Lynch, J. M., Fleck, S. J., Mazzetti, S.A., & Knuttgen, H. G. (2003). Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players. *Med. Sci. Sports Exerc*, 35,157–168.
- Lees, A. (2003). Science and the major racket sports: A review. *J Sports Sci*, 21, 707-32.
- Morris, M., Jobe, F. W., Perry, J., Pink, M., & Healy, B. S. (1989). Electromyographic analysis of elbow function in tennis players. *Am J Sports Med*, 7, 241-247.
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., . . . Gonzalez-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sports*, 27(7), 724-735.
- Perry, A. C., Wang, X., Feldman, B. B., Ruth, T., & Signorile, J. (2004). Can laboratory-based tennis profiles predict field tests of tennis performance?. *J Strength Cond Res*,18, 136–143.
- Pugh, S.F., Kovaleski, J. E., Heitman, R. J., & Gilley, W. F. (2003). Upper and lower body strength in relation to ball speed during a serve by male collegiate tennis players. *Percept. Mot. Skills*, 3:867–872.

Rodriguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., Gonzalez-Suarez, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(2), 240-246.

Rodriguez-Rosell, D., Yanez-Garcia, J. M., Torres-Torrelo, J., Mora-Custodio, R., Marques, M. C., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2018). Effort Index as a Novel Variable for Monitoring the Level of Effort During Resistance Exercises. *J Strength Cond Res*, 32(8), 2139-2153.

Roetert, E. P., McCormick, T. J., Brown, S. W., & Ellenbecker, T. S. (1996). Relationship between isokinetic and functional trunk strength in elite junior tennis players. *Isokinetics Exercise Science*, 6, 15-20.

Sampson, J. A., & Groeller, H. (2016). Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength? *Scand J Med Sci Sports*, 26(4), 375-383.

Sánchez-Medina, L., Jesús G. Pallarés, Carlos E. Pérez, Ricardo Morán-Navarro and Juan José González-Badillo (2017). Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the Full Back Squat Exercise. *Sports Medicine International Open* 2017; 01(02): E80-E88.

Sarabia, J. M., Juan, C., Hernández, H., Urbán, T., & Moya, M. (2010). El mantenimiento de la potencia mecánica en tenistas de categoría cadete. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 25, 51-74.

Terraza-Rebollo, M.; Baiget, E.; Corbi, F. y Planas Anzano, A. (2017). Efectos del entrenamiento de fuerza en la velocidad de golpeo en tenistas jóvenes. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol 17 (66) pp. 349-366.

Van Gheluwe, B., & Hebbelinck, M. (1985). The kinematics of the service movement in tennis: a three dimensional cinematographical approach. In D.A. Winter, R.W. Norman, R.P. Wells, & A.E. Patla (Eds.), *Biomechanics IX-B*. Champaign, IL: Human Kinetics, (pp. 521–526).

Whiteside, D., Elliott, B., Laya, B., & Reid, M. (2014). The effect of racquet swing weight on serve kinematics in elite adolescent female tennis players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17, 124-128.

Willardson, J. M., Emmett, J., Oliver, J. A., & Bressel, E. (2008). Effect of short-term failure versus nonfailure training on lower body muscular endurance. *Int J Sports Physiol Perform*, 3(3), 279-293.

# SÍNTESIS DE CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS



## **Síntesis de Conclusiones y Aplicaciones Prácticas de la Tesis**

Dentro del rango de edades y de niveles deportivos de los sujetos participantes en los estudios de esta tesis, los resultados nos permiten admitir la siguiente síntesis de Conclusiones y Aplicaciones Prácticas.

### ***Conclusiones***

- La vía hacia la excelencia en el rendimiento en tenis es en gran medida dependiente del aumento de la velocidad de la bola, mientras se mantiene relativamente estable la precisión en el golpeo. Es decir, el nivel deportivo (ND) aumenta si aumenta la velocidad de golpeo de la bola
- El ND es la variable con una mayor relación propia –independiente del resto de variables– con la velocidad de la bola en los tres golpes, y es la única que está presente como variable predictora de la velocidad de la bola en todas las ecuaciones de regresión lineal múltiple
- El rendimiento físico aumenta de manera continua con el ND, aunque, en nuestro caso, la variable de edad y el conjunto de las variables antropométricas sean muy semejantes
- El salto con contramovimiento (CMJ) y la carga que se puede desplazar a  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en sentadilla ( $C_{1\_sent}$ ) presentan correlaciones significativas entre sí y con los tiempos en carreras de 20 m cualesquiera que sean los valores de las variables edad, ND y antropométricas
- La  $C_{1\_sent}$  y el tiempo en 0-10 m son las variables que explican individualmente mayor varianza de la velocidad de los tres golpes cuando se controla la edad y las variables antropométricas conjuntamente
- Un entrenamiento de las características indicadas en esta tesis (cargas ligeras, escasa fatiga en la serie y ejecuciones realizadas a la máxima velocidad posible para el sujeto) es positivo para la mejora de la fuerza y el rendimiento en velocidad de desplazamiento y salto en jugadores de tenis

### ***Aplicaciones Prácticas***

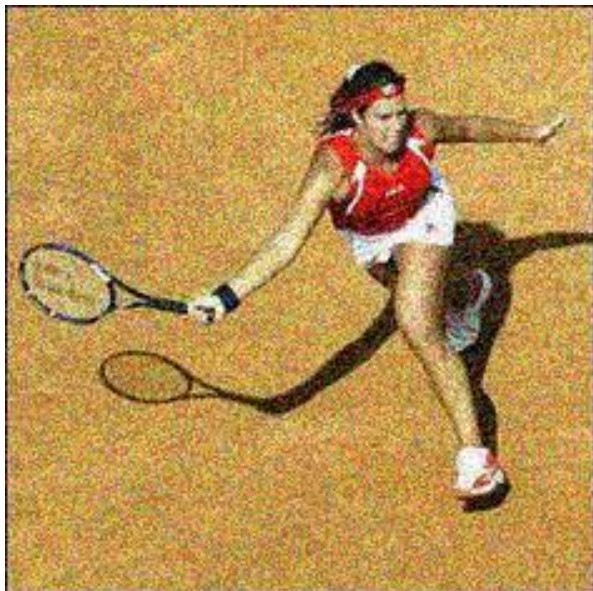
- Nuestros resultados sugieren que cuando intentemos explicar el rendimiento en el tenis a través del análisis de las correlaciones entre determinadas variables

supuestamente predictoras y el rendimiento específico, deberíamos aplicar las adecuadas correlaciones parciales para evitar en la medida de lo posible la aceptación de correlaciones espurias.

- En jóvenes tenistas, el objetivo más importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje del tenis debería ser incrementar la velocidad de la bola como prioridad en comparación con la precisión de los golpes
- Si se quiere tener una información útil (si se mide bien) de la evolución de la condición física de los jugadores, se debería medir con frecuencia el CMJ, la carga que puede desplazar el jugador a  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en los ejercicios de sentadilla completa y en press de banca y los tiempos en 10 y 20 m
- Si a las medidas anteriores se añade la medición de la velocidad de los golpeos, la información conjunta de todas estas medidas permitirá conocer de manera precisa y bastante completa el efecto del trabajo técnico y físico que se está realizando, así como tomar decisiones, probablemente acertadas, sobre los ajustes que deban hacerse en el proceso de entrenamiento
- Si se pretende mejorar la fuerza de los miembros superiores e inferiores, así como la capacidad de desplazamiento y de salto en tenistas jóvenes, menores de 20 años, sería recomendable que se utilizaran entrenamientos de las características del aplicado en este estudio. Este tipo de entrenamiento puede ser muy favorable para la realización de acciones a alta velocidad, las cuales son determinantes en acciones específicas de desplazamientos y cambios de dirección en distancias cortas en el tenis.
- En el análisis de los efectos del entrenamiento sobre la velocidad de la bola siempre se debería estudiar la posible relación entre los cambios de las variables de rendimiento físico y los de la velocidad de la bola



# RELACIÓN DE ABREVIATURAS



## ABREVIATURAS

Acrónimo	Significado
AE	Variables antropométricas y la edad
ANCOVA	Análisis de covarianza
ATP	Adenosín trifosfato
ATP	Asociación de Tenistas Profesionales
ATP-PC	Adenosín trifosfato - fosfocreatina
C_0-20 m_T_2	Cambios del tiempo en 0-20 m en el test 2
C_CMJ_T_5	Cambios en el CMJ en el test 2
C_PB_T_2	Cambios en press de banca en el test 2
C_V_máx_D	Cambios en la velocidad máxima en el golpe de derecha
C_V_máx_R	Cambios en la velocidad máxima en el golpe de revés
C_V_máx_S	Cambios en la velocidad máxima en el saque
C_V_máx_S_T_2	Cambios en la velocidad máxima del saque en el test 2
C_V_máx_S_T_5	Cambios en la velocidad máxima del saque en el test 5
C_V_med_D	Cambios en la velocidad media en el golpe de derecha
C_V_med_R	Cambios en la velocidad media en el golpe de revés
C_V_med_S	Cambios en la velocidad media en el saque
C_V_med_S_T_2	Cambios en la velocidad media del saque en el test 2
C <sub>1</sub> PB	Carga 1 m·s <sup>-1</sup> en press de banca
C <sub>1</sub> sent	Carga 1 m·s <sup>-1</sup> en sentadilla
CCI	Coefficiente de correlación intraclase
CEA	Ciclo de estiramiento acortamiento
CMJ	Salto con contramovimiento
CMO	Consumo máximo de oxígeno
CT	Coefficientes tipificados
CV	Coefficiente de variación

D	Golpe de derecha
DJ	Salto en profundidad
Dt	Desviación típica
DW	Test de independencia de Durbin-Watson
ETM	Error típico de medida
EVG	Envergadura
F	Fuerza aplicada
FC	Frecuencia cardíaca
FCmáx	Frecuencia cardíaca máxima
FIV	Factor de inflación de varianza
Grupo NP	Fuerza grupo “no periodizado”
Grupo P	Fuerza grupo “periodizado”
IC	Intervalo de confianza
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial
K-S	Prueba de Kolmogoroff-Smirnov
m	Masa
M <sub>1</sub>	Media de los grupos 1
M <sub>2</sub>	Medias de los grupos 2
MC de error	Media cuadrática de error
MCD	Mínimo cambio detectable
MCD (%)	Porcentaje que representa el mínimo cambio detectable de la
MCi	Media cuadrática intra-sujeto o media cuadrática de error
MCs	Media cuadrática entre sujetos
ND	Nivel deportivo
ND_1	Nivel deportivo 1
ND_2	Nivel deportivo 2
ND_3:	Nivel deportivo 3
ND_4	Nivel deportivo 4
ND_5	Nivel deportivo 5
ns	No significativo estadísticamente

P_5_G	Primeros cinco golpes
PC	Peso corporal
PTA	Predicción de la talla adulta
PVE	Pérdida de varianza explicada
r	Correlación de Pearson
R	Golpe de revés
R <sup>2</sup>	Varianza explicada
RFD	producción de fuerza en la unidad de tiempo
RM	Repetición máxima
r <sub>par_ND</sub>	Correlación parcial controlando el nivel deportivo
r <sub>par-AE</sub>	Correlación parcial controlando las variables antropométricas y la edad conjuntamente
r <sub>parcial</sub>	Correlación parcial
RX	Barra transmisora de la plataforma de contacto
S	Golpe de saque
SD <sub>ponderada</sub>	Desviación típica ponderada
t	Tiempo
TE	Tamaños del efecto (TE)
Toler	Tolerancia
TX	Barra receptora
U_5_G	Últimos cinco golpes
v	Velocidad
VB_D	Velocidad de la bola en el golpe de derecha
VB_R	Velocidad de la bola en el golpe de revés
VB_S	Velocidad de la bola en el saque
VMP	Velocidad media propulsiva
VO <sub>2</sub>	Consumo de oxígeno
VO <sub>2máx</sub>	Consumo máximo de oxígeno
WTA	Asociación de Mujeres Tenistas
ZPRE	Valores pronosticados tipificados
ZRES	Valores de los residuos tipificados

# RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS



## RELACIÓN DE TABLAS

Nº de Tabla	Título	Página
Tabla 1.1	Datos sobre las características físicas y técnicas de la competición en tenis	18
Tabla 2.1	Distribución de grupos por nivel y ranking	74
Tabla 2.2	Características físicas de los sujetos (media $\pm$ dt)	81
Tabla 2.3	Fiabilidad de las medidas de velocidad en los tres golpes: saque, derecha y revés.	82
Tabla 2.4	Velocidad media de la bola y precisión en el golpeo según el nivel deportivo (media $\pm$ dt)	83
Tabla 2.5	Coeficientes de correlación de Pearson entre la velocidad media de golpeo y diferentes variables y la correlación entre las mismas variables al aplicar la correlación parcial controlando el resto de las variables en los tres golpes: saque, derecha y revés	86
Tabla 2.6	Datos estadísticos del análisis de regresión lineal múltiple a través del método paso a paso con las velocidades medias y máximas como variables dependientes en los tres golpes	87
Tabla 3.1	Fiabilidad de las medidas de CMJ y carreras	116
Tabla 3.2	Diferencias en el rendimiento físico según niveles deportivos	116
Tabla 3.3	Coeficiente de correlación de Pearson entre variables físicas de interés: CMJ, carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en sentadilla ( $C_{1\_sent.}$ ) y carreras, y la correlación entre estas variables al aplicar la correlación parcial controlando el nivel deportivo (ND) de manera independiente y la edad y las variables antropométricas de manera conjunta ( $n = 64$ para CMJ y carreras; $n = 14$ con sentadilla)	117
Tabla 3.4	Coeficiente de correlación de Pearson entre la velocidad media y la velocidad máxima en los golpes de saque, derecha y revés y variables físicas de interés: CMJ, carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en sentadilla ( $C_{1\_sent.}$ ), carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en press de banca ( $C_{1\_PB.}$ ) y carreras, y la correlación entre las mismas variables al aplicar la correlación parcial controlando el nivel deportivo (ND) individualmente por un lado y las variables antropométricas y la edad (AE) por otro. ( $n = 64$ para CMJ y carreras; $n = 14$ con sentadilla y	119

press de banca; n = 74 para CMJ y golpes)

Tabla 3.5	Datos estadísticos del análisis de regresión lineal múltiple a través del método paso a paso con las velocidades medias y máximas como variables dependientes en los tres golpes.	121
Tabla 4.1	Ejemplo de entrenamiento programado correspondiente al primer ciclo	150
Tabla 4.2	Características físicas de los participantes en el estudio (media $\pm$ dt y coeficiente de variación: CV) n = 7	152
Tabla 4.3	Evolución del rendimiento en las variables físicas a través de los cinco tests (media $\pm$ dt)	153
Tabla 4.4	Valores de tamaño del efecto (TE) en los que no aparece el valor cero en el intervalo de confianza del 95% de las diferencias de medida, y solamente en aquellas comparaciones de pares de test en los que no se dieron diferencias significativas al aplicar el ANOVA de medidas repetidas: TE (IC-95%).	153
Tabla 4.5	Evolución de la velocidad media en los tres golpes y de la precisión de estos a través de los cinco tests (media $\pm$ dt)	154
Tabla 4.6	Correlaciones con un valor igual o superior a 0,5 entre los cambios de distintas variables físicas y los cambios en la velocidad de la bola en los tres golpes entre los distintos tests con respecto al test inicial.	155

## RELACIÓN DE FIGURAS

Nº de figura	Título	Página
Figura 1.1	Dimensiones reglamentarias de una pista de tenis y denominación de líneas y espacios	16
Figura 1.2	Salto de lectura o split-step previo al golpeo	25
Figura 1.3	Armado en el revés a una mano (izquierda) y posición de carga en el servicio (derecha)	26
Figura 1.4	Reacciones de los diferentes segmentos del cuerpo tras el impacto en varios golpes	27
Figura 1.5	Rotación hacia delante del tronco previo al impacto	27
Figura 1.6	Golpe de fuerza (izquierda) y golpe de precisión (derecha)	29
Figura 1.7	Saque con pies separados (izquierda) y con pies juntos (derecha)	30
Figura 1.8	Golpe de derecha en posición de lado (izquierda) y frontal o abierta (derecha).	30
Figura 1.9	Momento de “pausa” en la fase excéntrica del ciclo estiramiento-acortamiento en el servicio	31
Figura 1.10	Rotación de los hombros y las caderas al final de la fase excéntrica en la derecha	32
Figura 1.11	Ángulo entre los planos de hombros y caderas en el golpe de revés a una mano y a dos manos	32
Figura 1.12	Pirámide de la transferencia de fuerza en la cadena cinética del golpeo	34
Figura 2.1	Velocidades medias en cada golpeo según niveles deportivos	84
Figura 2.2	Precisión en cada golpeo según niveles deportivos	85
Figura 2.3	Variabilidad de los residuos tipificados a través del rango de los valores pronosticados tipificados. Se observa que la variabilidad de los residuos tipificados es homogénea a través del rango de los valores pronosticados tipificados. Datos correspondientes al $R^2$ más elevado: 0,814 (imagen superior: velocidad máxima en el saque) y al menor $R^2$ : 0,577 (imagen inferior: velocidad media en el revés).	89



Figura 3.1	Relación entre el salto vertical (CMJ) y el tiempo en 0-10 m	118
Figura 3.2	Relación entre el salto vertical (CMJ) y el tiempo en 0-20 m	118
Figura 3.3	Relación entre el salto vertical (CMJ) y la carga de $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en sentadilla ( $C_{1\_sent}$ ).	118
Figura 4.1	Relación entre los cambios del tiempo en 0-20 m ( $C_{0-20 \text{ m}_T2}$ ) y la velocidad máxima del saque en el T_2 ( $C_{V\_m\acute{a}x\_S\_T\_2}$ ) (figura superior), los cambios en press de banca ( $C_{PB\_T\_2}$ ) y los cambios en la velocidad media del saque en el T_2 ( $C_{V\_med\_S\_T\_2}$ ) (figura central) y los cambios en el CMJ ( $C_{CMJ\_T\_5}$ ) y los cambios en la velocidad máxima del saque en el T_5 ( $C_{V\_m\acute{a}x\_S\_T\_5}$ ) (figura inferior).	156

# ANEXOS



## ANEXO 1

**DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**

Yo, D. ....,  
mayor de edad, con D.N.I. nº ..... y domicilio en .....

.....  
(Teléf. ....)

Declaro que:

Me ofrezco a participar como voluntario en este *Proyecto de Investigación*, habiéndome sido explicado el propósito, naturaleza, beneficios y posibles riesgos de tomar parte en el mismo.

Sé que el profesor Dr. D. **Juan José González Badillo**, Catedrático de Universidad, en la Universidad Pablo de Olavide (UPO), de Sevilla, es el Investigador Responsable de este *Proyecto*, y supervisa su realización.

Y declaro que (marcar con una x):

- ☐ He decidido colaborar voluntariamente en este *Proyecto*.
- ☐ Sé que, si así lo deseo, puedo dejar de colaborar en cualquier momento sin ningún problema.
- ☐ Estoy de acuerdo en que mis datos se guarden por el Investigador Principal, de forma confidencial, para su posterior análisis.
- ☐ Sé que los resultados de esta investigación, en caso de publicarse, no estarán referidos a mi persona, respetándose la confidencialidad de los mismos y mi intimidad.
- ☐ Soy consciente de las molestias y riesgos potenciales que podrían derivarse de la realización de las pruebas.
- ☐ Informaré al experimentador de cualquier malestar que sienta.
- ☐ He tenido la oportunidad de hacer preguntas.
- ☐ He leído esta información, la considero suficientemente clara, y estoy de acuerdo en participar en el *Proyecto*.
- ☐ Se me ha dado una copia de esta *Declaración de Consentimiento*.

Por tanto, y estando conforme con todo lo anterior, **otorgo mi consentimiento** firmando la presente

*Declaración de Consentimiento Informado:*

En ..... a ..... de ..... de .....

HOJA DE REGISTRO DE DATOS PARA LOS TESTS ESPECÍFICOS

TEST VELOCIDAD DE GOLPEO Y CONTROL

Test Nº:    Fecha:

JUGADOR:

OBSERVACIONES:

nº bolas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S																				
D																				
R																				

JUGADOR:

OBSERVACIONES:

nº bolas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S																				
D																				
R																				

JUGADOR:

OBSERVACIONES:

nº bolas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S																				
D																				
R																				

# Reliability and Accuracy of Ball Speed During Different Strokes in Young Tennis Players



## Authors

Irene González-González<sup>1, 2</sup>, David Rodríguez-Rosell<sup>3</sup>, David Clavero-Martín<sup>2</sup>, Ricardo Mora-Custodio<sup>3</sup>, Fernando Pareja-Blanco<sup>3</sup>, Juan Manuel Yáñez García<sup>3</sup>, Juan José González-Badillo<sup>3</sup>

## Affiliations

- 1 Fundación San Pablo Andalucía CEU, Bormujos, Spain
- 2 Andalusian Tennis Federation, Seville, Spain
- 3 Centro de Investigación en Rendimiento Físico y Deportivo, Universidad Pablo de Olavide, Seville, Spain

## Key words

groundstrokes, serve, tennis, height, body weight, sport level

received 02.04.2018

revised 26.06.2018

accepted 27.06.2018

## Bibliography

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0662-5375>

Sports Medicine International Open 2018; 2: E133–E141

© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

ISSN 2367-1890

## Correspondence

Mr. David Rodríguez-Rosell, PhD

Centro de Investigación en Rendimiento Físico y Deportivo

Universidad Pablo de Olavide

Ctra. de Utrera, km 1

41013 Seville

Spain

Tel.: +34/622/467 840, Fax: +34/954/349 238

davidrodriguezrosell@gmail.com

## ABSTRACT

This study aimed to examine the relationship between anthropometric and sport level (SL) variables and both ball speed and accuracy in young male competitive tennis players. A secondary aim of this study was to analyze the possible differences in ball speed and accuracy between players of different competitive levels. A total of 85 players (age:  $14.7 \pm 2.4$  years; height:  $1.65 \pm 0.12$  m; body weight:  $56.3 \pm 13.4$  kg) were divided into five groups according to their positions in the ranking list. To measure stroke performances, the goal was to hit 20 balls at the maximum possible speed inside the court, with the opportunity of hitting a maximum of 30 balls for each groundstroke and 40 for serve. Accuracy was calculated by dividing the number of balls inside the default surface by the total number of hits. The ball speed showed high reliability for all three strokes assessed. The ball speed progressively increased as SL increased for all strokes, whereas accuracy remained unchanged across SL groups. All independent variables presented significant relationships ( $r = 0.59–0.85$ ,  $p < 0.05–0.001$ ) with ball speed for all strokes. However, after applying partial correlations these relationships decreased substantially ( $r = 0.02–0.51$ ). The accuracy showed significant relationships with SL only in the serve ( $r = 0.31$ ,  $p < 0.05$ ) and backhand ( $r = 0.26$ ,  $p < 0.05$ ) strokes. In conclusion, the results of the present study suggest that tennis performance depends on increasing ball speed while maintaining a relatively stable level of accuracy.

## Introduction

Tennis is a sport that demands a complex interaction of several physical, physiological and anthropometric components for successful performance [3, 11, 31]. In this regard, ball speed is usually considered one of the most important attributes of performance in tennis [19, 31], because an increased stroke speed reduces the time for an opponent to prepare to return the ball successfully. In fact, it appears that the evolution within the game has been characterized by a progressive increase in the ball speed during groundstrokes and serves [8], which may be a consequence of developing the physical, technical and tactical preparation of tennis players.

In addition, ball speed seems to be the main factor differentiating high-level tennis players from those of lower levels, regardless of the age of the players [19, 30, 32]. For these reasons, players generally trying to maximize the ball speed of groundstrokes and serve without sacrificing accuracy [19, 31]. Therefore, because the importance of these variables for high performance in professional and young tennis players [19, 30, 31], it appears necessary to know the ball speed and accuracy during different strokes, how these variables evolve with the increasing sport level (SL), as well as the factors impacting speed and accuracy.

Most studies analyzing tennis strokes have focused on the biomechanical aspects of the player's movement and influence of rack-

et characteristics [1, 4, 14, 25, 26]. In addition, several studies [3, 8, 31] have examined the influence of anthropometric characteristics in ball speed and accuracy, mainly during the serve. Results of these studies [3, 8, 31] appear to indicate that height plays a determining role in both variables during the serve. Theoretically, taller players can achieve higher ball impact height, allowing them to serve at a higher speed than smaller players with the same probability of a successful serve [31]. In this connection, significant positive relationships between height and ball speed during the serve have been observed in professional tennis players [3, 8, 31]. Conversely, no significant relationship has been found between serve ball speed and body weight [3]. However, the specific role of other anthropometric variables such as wingspan on ball speed during the serve, as well as the possible influence of height, body weight and wingspan on ball speed in groundstrokes still remains unanalyzed. Similarly, the above-mentioned studies [3, 8, 19, 31] were conducted with adult tennis players, whereas little is known about the relationship between these anthropometric variables and the performance (ball speed) in the different tennis strokes in young players.

In addition to ball speed, successful performance in tennis also depends on accuracy. During the serve, hitting the ball at a greater height allows a larger area of the service box into which the ball can land, so the ball is less likely to land outside the service box and be classed as an error [5, 26]. This means that the height to which the ball is hit also has a positive influence on the accuracy and success of the serve [31]. However, the relationship between accuracy and height or other physical characteristics seem to have not been sufficiently studied. Moreover, contrary to what one may think, ball speed does not seem to have a negative influence on accuracy in tennis. Studies on this matter [4, 6, 13, 19] have shown that there was no significant difference in accuracy as a consequence of higher ball speeds in the different strokes in tennis, indicating that: (1) the more powerful shots of the highly skilled tennis players are as accurate as their slower shots [6]; and (2) the high-level players show equally or even more hitting accuracy than players of a lower level [19]. In fact, a relationship between ball accuracy and the level of tennis performance have been shown in previous studies [19, 20]. This means that experienced or high-level tennis players try to maintain a high racquet speed throughout their strokes, because otherwise it would probably result in unsuccessful hits due

to changed timing patterns or in an easy shot for their opponent [7, 19].

Despite the considerable high demands of elite tennis and the increased participation in competitions from an early age, studies conducted with young tennis players are scarce and have been mainly focused on analyzing the evolution of different anthropometric and fitness characteristics [16–18, 22, 23, 30]. However, combined data on speed and accuracy in forehand, backhand and serve strokes of young tennis players with different SL are limited [15, 30]. Therefore, although a number of studies have been focused on young tennis players, more information is needed about the contribution of various anthropometric characteristics in on-court tennis play in this population, especially in relation to the ball speed and the accuracy of the different strokes. In light of the above considerations, the purposes of this study were: (1) to compare ball speed and accuracy of groundstrokes (forehand and backhand) and serve between young tennis players of different SL; and (2) to examine which anthropometric characteristics and other variables such as age and competitive level could best explain both ball speed and ball placement as criterion measures in young male competitive tennis players.

## Methods

### Participants

A total of 85 male tennis players [age,  $14.7 \pm 2.4$  years; height,  $1.65 \pm 0.12$  m; body weight (BW),  $56.2 \pm 13.32$  kg; wingspan,  $1.68 \pm 0.14$  m] participated voluntarily in this study. The inclusion criteria were: 1) take part of the talent development program of the Regional Tennis Federation, and 2) be on the national ranking lists. The players were divided into five groups according to their SL, which was determined through their positions in the national ranking list, as follows: SL1, national score  $\leq 45$  points; SL2,  $45 < \text{national score} \leq 200$  points; SL3,  $200 < \text{national score} \leq 500$  points; SL4,  $500 < \text{national score} \leq 650$  points; SL5, national score  $> 650$  points. The total points correspond to the sum of the points obtained in the different national (Spanish) tournaments. Players only played in singles modality. Currently, the points for each player are added and defended each month. Player characteristics are displayed in ► **Table 1**. All tennis players were considered healthy, with

► **Table 1** Physical and competitive characteristics of the participants for each sport level group (mean  $\pm$  SD).

	SL1 (n = 14)	SL2 (n = 28)	SL3 (n = 23)	SL4 (n = 10)	SL5 (n = 10)
Age (years)	$14.3 \pm 1.2$ ***	$13.7 \pm 2.6$ ***	$14.5 \pm 1.6$ ***	$14.9 \pm 1.6$ **	$18.3 \pm 2.0$
Height (cm)	$164.5 \pm 9.4$	$157.9 \pm 14.0$ **	$166.8 \pm 9.8$	$169.6 \pm 9.6$	$177.5 \pm 6.0$
BW (kg)	$53.7 \pm 9.7$ ***	$48.4 \pm 12.4$ ***†	$57.1 \pm 11.2$ **	$63.0 \pm 12.3$	$73.4 \pm 6.1$
Wingspan (cm)	$168.5 \pm 10.1$	$160.0 \pm 15.5$ **	$168.8 \pm 10.6$	$173.1 \pm 11.6$	$188.6 \pm 8.3$
Maturity offset	$0.55 \pm 1.09$ ***†	$-0.05 \pm 2.12$ ***†	$0.79 \pm 1.38$ ***	$1.18 \pm 1.49$ **	$3.72 \pm 1.06$
PAS (%)	$93.0 \pm 4.0$ ***	$89.9 \pm 7.3$ ***	$93.4 \pm 4.6$ ***	$94.6 \pm 4.4$ ***	$99.6 \pm 0.4$
National score	$30.3 \pm 10.4$	$116.6 \pm 44.9$	$352.7 \pm 77.8$	$573.4 \pm 41.2$	$695.6 \pm 24.9$
National ranking	$6423.9 \pm 433.8$	$1838.2 \pm 797.1$	$901.1 \pm 185.0$	$376.7 \pm 189.5$	$102.1 \pm 32.5$
Competitions	$5.5 \pm 2.0$	$10.5 \pm 1.2$	$16.4 \pm 1.1$	$22.7 \pm 1.7$	$28.7 \pm 1.4$

SL: sport level; BW: body weight; PAS: predicted adult stature; BS: ball speed; S: serve; F: forehand; B: backhand; Competitions: number of competitions per year. Statistically significant differences with respect to SL<sub>5</sub>: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Statistically significant differences with respect to SL<sub>4</sub>: †  $p < 0.05$ . Note: The national Score, national ranking position and competitions variables progressively increased ( $p < 0.001$ ) from SL1 to SL5.



no significant bodily injury at the time of testing, and had been playing tennis consistently for a minimum of 4 years. The players, technical staff, and parents were informed of all experimental procedures and potential risks of the study. Parental/guardian informed consent for all players involved in this investigation were obtained before participation. The present investigation met the ethical standards of this journal [12], was approved by the ethical committee of the Pablo de Olavide University and was consistent with the ethical requirements for human experimentation in accordance with the Declaration of Helsinki.

## Study design

A cross-sectional research design was used to analyze: (1) if the independent variables height, BW, wingspan, age, and SL are related to both the ball speed and accuracy in young male national competitive tennis players; and (2) the differences in these variables between different competitive levels. To address this issue, 85 young male tennis players, who were divided into five groups according to their positions in the national ranking lists, were tested in a single testing session. The battery of tests performed included anthropometrics assessments and ball speed tests during three different strokes: forehand, backhand and serve. For these on-court tests, the goal was to land 20 balls inside the designated area hitting the ball as fast as possible. To do this, the players had the opportunity to hit a maximum of 30 balls in parallel for the groundstrokes (backhand and forehand), and 40 for the serve (20 balls to each side of the court). The testing session was conducted right after the end of the season, when participants were not involved in competitive activities. In the preceding 2 weeks of this study, 2 preliminary familiarization sessions were undertaken so that the players could become familiar with the dynamics of the on-court tests.

## Testing procedures

The players were tested using anthropometric and on-court performance variables. The physical characteristics included age, height, BW, and wingspan. The on-court performance tests included the measurement of post-impact ball speed in parallel groundstrokes (backhand and forehand) and post-impact ball speed in crossover serves. The testing session was conducted in the morning (10:00–12:00 am) under similar environmental conditions ( $\sim 22^{\circ}\text{C}$ – $24^{\circ}\text{C}$  and  $\sim 55\%$ – $65\%$  humidity) for all participants.

## Anthropometric measures

Height and BW were measured using a medical stadiometer and scale (Seca 710, Ltd., Hamburg, Germany). Wingspan was measured from the tip of one middle finger to the tip of the other middle finger, with the participants abducting both arms horizontally and perpendicular to the body's upright position [24]. The maturity status of the participants was determined using years from/to peak height velocity (PHV) [i. e., maturity offset =  $-7.999994 + (0.0036124 \times \text{age} \times \text{height})$ ;  $R^2 = 0.896$ ;  $\text{SEE} = 0.542$ ] [21], as well as the percentage of predicted adult stature [27]. At least 2 days before test time, there were no fatiguing training sessions. Strong verbal encouragement was provided during all on-court tests to motivate participants to give a maximal effort.

## On-court performance

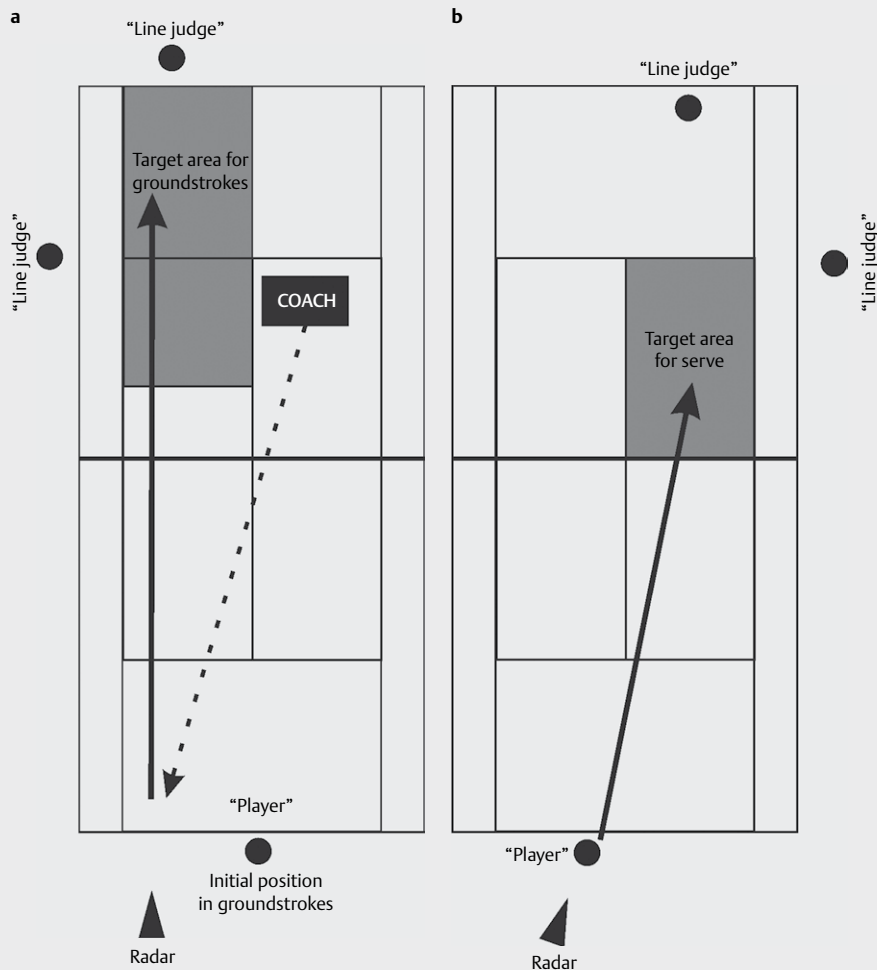
Forehand, backhand and serve tests were performed on a hard-surface tennis court. All the participants performed the same warm-up protocol, which consisted of 5 min of jogging at an easy pace, 10 min of upper and lower-limb joint mobilization exercises, and 20 hits for forehand, backhand and serve, respectively, at a progressive intensity. Then, the players were allowed to perform 5 maximal practice trials prior to testing. After a 2-min rest, the test began. During the test, participants were instructed to “hit the ball to the target square and hit it as fast as possible” [19]. For the groundstrokes, the same coach, former tennis player, with extensive experience in teaching tennis, threw balls from the middle of the court on the opposite side of the player, leaving the corridor free to allow groundstrokes to be made in parallel (► **Fig. 1**). The speed of the ball thrown by the coach was  $\sim 50$ – $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  (recorded using the radar gun). For the groundstrokes, the players were placed standing in the middle of the baseline. They made the proper movement to hit the ball, and after each stroke the participant had to return to the center of the baseline before returning the next ball. The tests were carried out in groups of 3 players. Each participant performed sets of 5 strokes alternating with the other players in the group until they completed the maximum number of strokes allowed (30 for groundstrokes or 40 for the serve), or until they achieved the goal of landing 20 balls on the designated area (see ► **Fig. 1**). Thus, after each set, participants had a 1–2 min rest to avoid any effect of fatigue on ball speed or accuracy. The different strokes assessed (forehand, backhand and serve) were carried out in random order for each group of participants. In each stroke, the ball speed was written down when the ball landed inside the court (groundstrokes) or the service box (serve), and was recorded only as a hit when the ball landed outside the designated target area. Two trained researchers were responsible for supervising the landing of each ball and determining whether the ball was “in” or “out.” The maximum (the best) ball speed, the mean speed and the number of strokes were recorded for the subsequent analysis. Mean speed was calculated as the average speed of all those balls that landed inside the court.

## Accuracy quantification

Accuracy was calculated by dividing the number of balls inside the defined surfaced by the total number of hits in each type of stroke in relative terms [Accuracy = (Ball “in”/Total hits)  $\times 100$ ]. Therefore, the value obtained from this equation always range from 0 to 100 %, in such way that the higher the ratio (i. e., closest to 100 %), the greater the accuracy.

## Measurement equipment

Post-impact ball speed was measured using a radar gun (Stalker ATS II Professional Sports Radar, Plano, TX, USA; accuracy  $\pm 1.6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ; range of velocity: from 1.6 to  $1287 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ; frequency: 34.7 GHz). This device has been validated and used in previous human experiments to measure sprint running [9, 10], kicking [29] and throwing the ball [28]. For the groundstrokes, the researcher in charge of measuring the ball speed held the radar gun and stood about 2 m behind the player adjusting position according to the point where the player hit the ball, and with the radar



► **Fig. 1** Experimental set-up for groundstrokes **a** and serve **b**.

axis aligned in the direction and height of the ball trajectory (according to radar gun specifications). Another experienced researcher observed and wrote the speed down if the ball landed inside the court. For the serve, the researcher was placed on a platform 2 m in height holding the radar gun with the radar axis aligned in the direction of the ball trajectory.

### Statistical analysis

The data obtained are presented as mean  $\pm$  SD. A one-way random effects model with ANOVA analysis was applied to calculate the intraclass-correlation coefficient (ICC, model 2,1) to determine relative reliability [34]. The size of the correlation evaluated as follows:  $r < 0.7$  low;  $0.7 \leq r < 0.9$  moderate and  $r \geq 0.9$  high [33]. Absolute reliability was reported using the standard error of measurement (SEM) [34], which was calculated as the square root of the intra-subject total mean square ( $SEM = \sqrt{\text{Error Mean Square}}$ ). The SEM values were expressed in relative terms through the coefficient of variation (CV) [2]. The maximum amount of the standard error of measurement differences, which we express as the minimal difference (MD) between two measurements to consider these measurements as different, was calculated by multiplying the standard

error of measurement differences ( $SEM \cdot \sqrt{2}$ ) by 1.96 (confidence interval = 95 %), resulting the following equation:  $MD = SEM \cdot \sqrt{2} \cdot 1.96$ . Because the relative effects of maturational status would exist on both anthropometric and technical characteristics, an analysis of covariance (ANCOVA) controlling for the maturity offset variable was then used with Bonferroni's correction to detect differences between the groups in anthropometric variables, ball speed and accuracy. This analysis creates an adjusted mean for values of all five groups depending on the maturity status. A one-way analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni's post-hoc pairwise comparisons was used to detect differences between the different strokes (serve, forehand and backhand) in ball speed and accuracy variables. Pearson's correlation coefficients were calculated to establish the relationships between the variables analyzed. To detect possible spurious relationships, partial correlations between each variable and the ball speed were calculated by controlling the rest of the variables. A stepwise multiple regression analysis was conducted to determine the importance of the variables assessed in predicting ball speed in the three strokes, and the regression model assumptions were analyzed. All data analyses were performed using SPSS (V17.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA).



## Results

### Ball speed

The ANCOVA test revealed that the maturity status showed a significant effect ( $p < 0.05$ ) on ball speed, but the SL factor also resulted in a significant effect in all the strokes (serve:  $F = 6.73$ ,  $p < 0.001$ ; forehand:  $F = 5.93$ ,  $p < 0.001$ ; backhand:  $F = 8.37$ ,  $p < 0.001$ ). The ball speed increased progressively from the SL\_1 to SL\_5 group in all the three strokes assessed, with SL\_4 and SL\_5 showing significantly greater ball speed than SL\_1 and SL\_2 (► Fig. 2). In addition, SL\_5 had a tendency to show higher ball speed values than SL\_3 in the serve ( $p = 0.07$ ), forehand ( $p = 0.08$ ) and backhand ( $p = 0.08$ ) strokes. All the groups showed significantly ( $p < 0.05$ ) higher ball speed during serve compared to forehand and backhand strokes, whereas ball speed during the forehand was always significantly ( $p < 0.05$ ) greater than the backhand stroke (► Fig. 2).

### Accuracy

The ANCOVA test revealed that the maturity status had no effect on accuracy (serve:  $F = 0.026$ ,  $p = 0.87$ ; forehand:  $F = 3.143$ ,  $p = 0.08$ ; backhand:  $F = 0.994$ ,  $p = 0.32$ ). There were no significant differences between SL groups in accuracy for any stroke assessed, except for SL\_1 with SL\_3 and SL\_5 in the serve stroke. All groups resulted in significantly greater ( $p < 0.001$ ) accuracy in groundstrokes than the serve stroke (► Fig. 3).

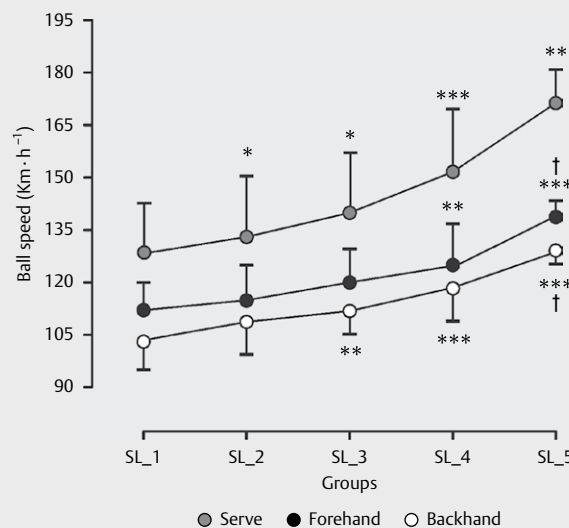
### Reliability of ball speed

The maximum ball speed showed high absolute (CV) and relative (ICC) reliability scores for the three types of strokes in both when the data were analyzed by groups (► Fig. 4) and when the data was pooled (► Table 2). The serve was the most reliable stroke in all SL groups, with ICC values higher than 0.94 and CV values ranging from 2.3–6.2% (► Fig. 4). Reliability scores for forehand and backhand strokes were very similar (► Table 2, ► Fig. 4). The reliability for each SL group in the same variables was similar, with systematically lower CV in SL\_5 in all cases. In addition, both the ICC and CV of the first and last five strokes were similar for all three strokes assessed and all the SL groups (► Fig. 4).

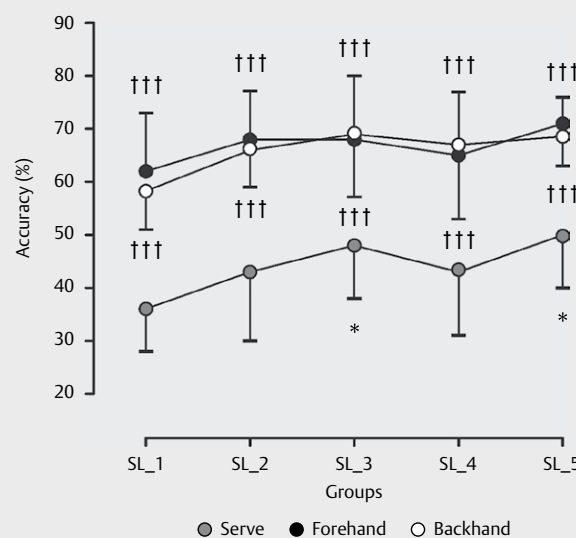
### Relationship between anthropometric variables and ball speed and accuracy

Significant correlations ( $p < 0.001$ , in all cases) were observed between the maximum and mean ball speed in the three strokes and the variables age, SL, BW, height, wingspan and maturity offset (► Table 3). When these correlations were controlled for the rest of the variables, the correlation coefficient values were considerably reduced, with only the SL variable maintaining significant correlations ( $p < 0.001$ ) with ball speed in all the three strokes assessed.

A multiple regression analysis was conducted to determine the importance of age, SL, BW, height, maturity offset and wingspan in predicting ball speed performance on the three strokes (► Table 4). The explained variance ( $R^2$ ) was slightly higher for the maximum ball speed than for the mean speed in all three strokes, with a tendency to be higher in the serve compared to the forehand and backhand strokes. The SL was the only variable present in all the regression equations. The regression model assumptions were satisfactorily fulfilled.



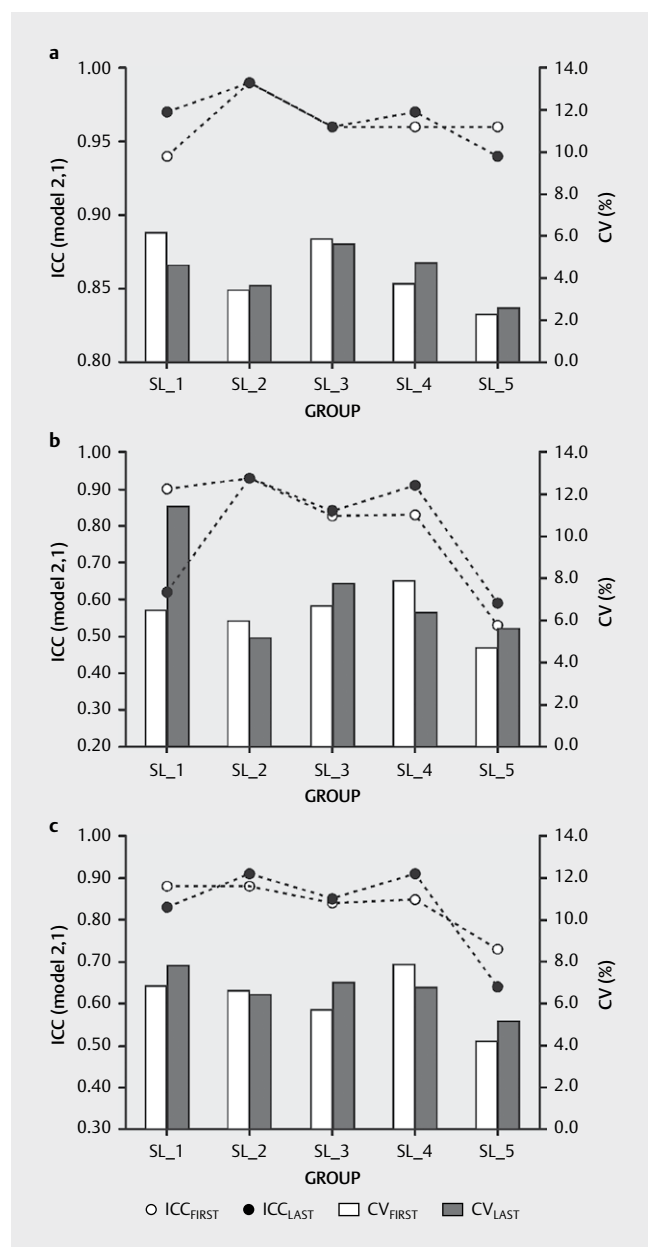
► Fig. 2 Mean speed of the ball in each stroke according to sport level (SL). Statistically significant differences compared to SL\_1: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Statistically significant differences compared to SL\_2: †  $p < 0.05$ . Note: Mean ball speed during the serve was significantly ( $p < 0.001$ ) greater than both groundstrokes for all the sport level groups, whereas mean ball speed during the forehand was significantly ( $p < 0.001$ ) greater than the backhand stroke for all the sport level groups.



► Fig. 3 Accuracy in each stroke according to sport level (SL). Statistically significant differences compared to SL\_1: \*  $p < 0.05$ . Statistically significant differences compared to the serve: †††  $p < 0.001$ .

filled. All values of the Durbin-Watson (DW) independence test were close to 2. Similarly, all values of tolerance were higher than 0.1 and the variance inflation factor (VIF) lower than 10. In all cases, the dependent variable was adjusted to normality.

The accuracy showed only weak significant relationships with SL in the serve ( $r = 0.31$ ,  $p < 0.05$ ) and backhand ( $r = 0.26$ ,  $p < 0.05$ )



► **Fig. 4** Reproducibility of ball speed measurements for the serve **a**, forehand **b** and backhand **c** stroke. The ICC (2,1) and CV values for the first and last five strokes in each group are reported.

strokes. No significant relationships were found with any other anthropometric variable. In addition, the accuracy also showed no relationship either with the mean or maximum ball speed in any stroke assessed.

## Discussion

In the present study, we compared the ball speed and accuracy in young tennis players with different SL, and we also analyzed the potential impact of age, SL, BW, height, maturity status and wingspan on ball speed during groundstrokes and serve. The main find-

ings of this study were: 1) ball speed showed a high reliability for all three strokes assessed, regardless of the SL, with a tendency to show greater reliability scores in the serve compared to the forehand and backhand; 2) the ball speed increased progressively from SL\_1 to SL\_5 in all three strokes, however the accuracy remained practically stable between the different SL groups; 3) all variables (age, SL, BW, height, maturity status and wingspan) showed significant correlations with ball speed in all three strokes, but after applying partial correlation in order to control the influence of the rest variables in the relationships, these correlation coefficients decreased substantially; and 4) some of the above-mentioned variables (mainly BW and SL) explained a remarkable percentage of variance (from 57.7 to 81.4%) of mean and maximum ball speed when multiple linear regressions were applied.

## Reliability

All five SL groups showed a high absolute (CV: 4.37–7.30%) and relative (ICC: 0.90–0.98) reliability scores in ball speed for all types of strokes in both the first and last five strokes (► **Table 2**). Previous studies have shown similar (ICC: 0.87–0.99) [17] or even lower (ICC: 0.748, 95% confidence interval: 0.149–0.945) [3] reliability scores in tennis players of different ages. Comparison between different strokes indicated that reliability tended to be better in the serve compared to the forehand and backhand. These results are especially relevant taking into account that the serve is considered a stroke of greater technical difficulty than groundstrokes. Thus, this tendency could be due to the greater stability in the position of the subject and ball speed before hitting in the serve compared to the groundstrokes, because the player himself places the ball in the proper height and position, whereas in the forehand and backhand strokes the player has to adapt the stroke to the height and speed of the approaching ball. In addition, our results showed similar reliability scores for all SL groups (► **Fig. 4**). Therefore, this generally high stability of ball speed found in all the three strokes assessed suggests that we can have considerable confidence in the rest of the results of this study.

## Accuracy

In the present study, a greater accuracy level meant that the player needed fewer strokes to place 20 balls inside the target area (► **Fig. 1**). Our results showed that although the ball speed showed a clear tendency to increase with the SL (► **Fig. 2**), the accuracy remained practically stable for all SL groups (► **Fig. 3**). Only SL\_5 and SL\_3 showed a greater accuracy level ( $p < 0.05$ ) than SL\_1 in the serve, whereas no significant differences were found in either of the two groundstrokes assessed (► **Fig. 3**). This tendency has been previously observed during the serve [4, 6], with no decrease in accuracy when the ball speed increased. In addition, similar to our results, a previous study [19] found that the ball speed during the forehand and backhand was higher for elite players compared to high-performance tennis players, however both groups showed similar ability in terms of the accuracy. Therefore, these results suggest that the increase in tennis performance is highly dependent on increasing ball speed with relatively stable accuracy, especially for the forehand and backhand strokes.

► **Table 2** Reliability of ball speed measurements in the serve, forehand and backhand strokes for all groups pooled.

	ICC (CI: 95 %)	SEM (km · h <sup>-1</sup> )	CV (%)	MD (km · h <sup>-1</sup> )	Mean (km · h <sup>-1</sup> )	MD (%)
<b>Serve</b>						
F_5_S	0.98 (0.97-0.99)	6.40	4.50	17.73	140.96	12.58
L_5_S	0.98 (0.97-0.99)	6.17	4.37	17.10	141.27	12.10
<b>Forehand</b>						
F_5_S	0.92 (0.89-0.95)	7.50	6.36	10.60	118.44	17.55
L_5_S	0.90 (0.87-0.93)	8.90	7.30	24.67	122.07	20.21
<b>Backhand</b>						
F_5_S	0.91 (0.88-0.94)	7.10	6.30	19.68	112.18	17.58
L_5_S	0.92 (0.89-0.94)	7.50	6.67	20.79	112.60	18.46
ICC: intraclass correlation coefficient; SEM: standard error of measurement; CV: coefficient of variation; MD: minimal difference; MD (%): minimal difference relative to the mean; F_5_S: first five strokes; L_5_S: last five strokes.						

► **Table 3** Pearson's correlation coefficients between mean ball speed and different variables, and partial correlations controlling for the rest of variables in the three strokes: serve, forehand, and backhand.

	Serve			Forehand			Backhand		
	r	r <sub>partial</sub>	LEV (%)	r	r <sub>partial</sub>	LEV (%)	r	r <sub>partial</sub>	LEV (%)
Age	0.79***	0.35***	81.0	0.69***	0.23*	89.5	0.62***	0.16	94.7
SL	0.59***	0.39***	57.1	0.63***	0.44***	52.5	0.66***	0.51***	39.5
BW	0.85***	0.39***	79.1	0.71***	0.10	98.0	0.66***	0.08	100
Height	0.78***	0.13	91.7	0.68***	0.11	97.1	0.60***	0.03	99.7
Wingspan	0.76***	0.10	100	0.66***	0.02	100	0.61***	0.10	100
Maturity offset	0.83***	0.19	94.2	0.73***	0.15	96.2	0.66***	0.09	98.1
PAS (%)	0.24*	0.06	93.3	0.25*	0.16	66.7	0.21	0.09	80.0
r: Pearson's correlation coefficient; r <sub>partial</sub> : partial correlation; LEV: loss of explained variance after controlling for the rest of variables; SL: sport level; BW: body weight. Significant correlation coefficients: * p<0.05, *** p<0.001.									

## Correlations between age, SL, BW, height, wingspan and ball speed

Significant correlations were observed between the mean and maximum ball speed in the three strokes and age, SL, BW, height, and wingspan (► **Table 3**). In agreement with our results, previous studies [3, 8, 19, 31] also have shown the positive influence of height and wingspan on ball speed during the serve. As a novel finding, our results suggest that these variables are also relevant in the forehand and backhand strokes. Thus, the correlations values appear to indicate that all these anthropometric and sport level variables are very important to yield high performance in young tennis players. However, partial correlation analysis showed that these individual relationships are highly influenced by the other variables. For example, in the serve stroke, after applying partial correlations only age, SL, and BW maintained a significant correlation with ball speed ( $p < 0.001$ ), but with a loss of explained variance ranging from 57 to 81 % (► **Table 3**). In the forehand, age ( $p < 0.05$ ) and SL ( $p < 0.001$ ) maintained a significant relationship with ball speed, whereas in the backhand only SL showed a significant correlation ( $p < 0.001$ ) after applying partial correlations (► **Table 3**). The partial correlations between ball speed and the rest of the variables for all three strokes showed values close to zero (► **Table 3**). Therefore, it appears that after applying partial correlations analysis, only the SL variable maintained a significant correlation with ball speed in all three strokes. These results are in accordance with the previous suggestion indicating that progression to excellence in tennis is

highly dependent on increase ball speed, because only SL showed a significant independent relationship with this parameter, and with a lower loss of explained variance compared to the rest of the variables. These results represent an important and novel finding and suggest that caution should be taken when determining what variables are important for tennis performance. For example, several studies have shown a significant relationship between height and ball speed during the serve [3, 8, 30, 31], and groundstrokes [14, 19], but in these studies the influence of other variables (BW, SL, wingspan) was not controlled. Therefore, our results seem to indicate that it is necessary to analyze the partial correlations in order to know the real influence of each variable on the ball speed during different strokes in tennis.

## Explained variance of ball speed through multiple regression analysis

The multiple regression analysis showed slightly higher explained variance ( $R^2$ ) for the maximum ball speed than for the mean speed in the three strokes, with a tendency to be higher in the serve compared to the forehand and backhand (► **Table 4**). The greater explained variance in the serve may be in relation to the higher stability in this type of stroke. For the serve, the three variables in the equations were the same (BW, SL, age) for mean and maximum ball speeds, and they correspond with the three variables that exhibited greater independence when the partial correlation was applied (► **Table 3**). Thus, the results of multiple regression analysis reinforce the results obtained in the partial correlation study. Surprisingly, al-

► **Table 4** Statistics of multiple linear regression with stepwise method and mean and maximum ball speed as dependent variables in the three strokes.

Dependent variable	R <sup>2</sup>	DW	Equation	SC	Toler	VIF	K-S
Mean BS in the serve	0.793	1.69	0.77BW + 3.77SL + 0.73age + 47.7	BW: 0.50	0.358	2.79	p = 0.853
				SL: 0.22	0.771	1.30	
				Age: 0.30	0.380	2.57	
Mean BS in the forehand	0.625	2.07	0.29BW + 3.29SL + 1.45age + 73.37	BW: 0.32	0.354	2.825	p = 0.969
				SL: 0.33	0.748	1.337	
				Age: 0.28	0.380	2.633	
Mean BS in the backhand	0.577	1.91	0.36BW + 3.96SL + 81.53	BW: 0.44	0.754	1.326	p = 0.653
				SL: 0.44	0.754	1.326	
Maximum BS in the serve	0.814	1.9	0.76BW + 4.4SL + 2.37age + 60.2	BW: 0.51	0.358	2.79	p = 0.895
				SL: 0.26	0.771	1.30	
				Age: 0.28	0.389	2.57	
Maximum BS in the forehand	0.728	1.9	4.23SL + 1.69age + 0.34WS + 36.6	SL: 0.39	0.804	1.243	p = 0.86
				Age: 0.30	0.403	2.481	
				WS: 0.35	0.429	2.332	
Maximum BS in the backhand	0.656	2.2	4.96SL + 0.37WS + 47.65	SL: 0.521	0.86	1.162	p = 0.66
				WS: 0.455	0.86	1.162	

BS: ball speed; R<sup>2</sup>: explained variance by the regression; DW: Durbin-Watson test to detect the presence of autocorrelation in the residuals from a regression; SC: standardized coefficients; Toler: tolerance; VIF: variance inflation factor; K-S: Kolmogorov-Smirnov test to check the normality; BW: body weight; SL: sport level; WS: wingspan.

though previous studies [3, 8, 31] have indicated that the height of the tennis players is a key factor to obtain a high ball speed during the serve, this variable did not appear in the equation for this stroke neither for the forehand or backhand. However, this does not mean that height is irrelevant for the different strokes, especially for the serve. Our results suggest that this variable has less effect on ball speed in relation to the other variables when all of them are considered together as predictor variables. The absence of the height variable in the equations can be explained by its strong relationship with BW ( $r = 0.88$ ;  $p < 0.001$ ), which could indicate that BW explains almost all the variance that could be attributed to the height variable. In order to check the possible contribution of height to explain the variance of the maximum ball speed, we removed BW as a predictor variable and found that in this case height came into the equation, together with SL and age, but with less explained variance (78.5%) and a lower standardized coefficient (0.399) for height than BW in the equation (81.7% and 0.51, respectively). These alternative analyses suggest that BW has greater predictive power than height. A similar explanation could apply to the fact that wingspan appeared only as a predictor variable for maximum ball speed in the forehand and backhand strokes, but not in the serve, in accordance with previous studies [24]. In contrast, SL is the only variable that appears in all the regression equations, which confirms the suggestion that SL is the variable with a greater independent relationship with the ball speed in all three strokes. Finally, our results also seem to suggest that the backhand is the most complex stroke, because this type of stroke showed a lower explained variance and equations included a smaller number of variables compared to the serve and forehand strokes (► **Table 4**).

## Limitations

The current study presents mainly two limitations. First, players were not limited to a particular stance, grip or technique. Moreover, each player used his own racquet and differences in dimensions and string

tension of the players' racquets were not assessed. This aspect was a limitation of the present study, because the racquet characteristics (weight, length, area of the striking surface, string tension) can influence the rebound speed of the tennis ball (Bower & Cross, 2008). However, players reported a preferred string tension between 24 and 28 kg before testing. On the other hand, during groundstrokes, the balls were thrown by an experienced coach and not by a ball machine. This factor could have influence on ball speed and direction and, consequently, on the ball speed, stability and accuracy during the hit by the player. However, as indicated in methods section, the balls were always thrown by the same trained coach and throwing speed of the ball was stable, ranging from 50–60 km · h<sup>-1</sup>. In this way an attempt was made to limit the “coach” effect on ball throwing. In fact, both groundstrokes (forehand and backhand) showed a high absolute and relative reliability. In addition, it is important to indicate that during a tennis match, the ball does not always reach the same place or at the same speed, so the players have to adapt to be able to hit properly in each stroke. Therefore, our study could constitute a more accurate approximation of the analysis of reliability and accuracy in real game conditions.

## Practical applications

Several critical implications for coaches may be derived from this investigation. Firstly, because the ball speed increased progressively as the SL increased in all strokes, the tests for the detection of talents in tennis players should include the measurement of ball speed during different strokes. In addition, of this result it can also be deduced that, in young tennis players, the most important goal in the process of teaching tennis should be increasing ball speed as a priority compared to accuracy. Finally, the results of partial correlations in the current study suggest that further studies are needed in order to determine the real influence of different anthropometric and physical variables on ball speed during the serve and groundstrokes.

## Conclusions

The main findings of the present study were: 1) in tennis players aged 13 to 18 years, the way to excellence is highly dependent on increasing ball speed while maintaining relatively stable accuracy, especially in forehand and backhand strokes; 2) considering height, BW, wingspan, age, and SL together as independent variables in the application of multiple linear regressions, the height variable does not appear as a predictor of ball speed; 3) the SL is the variable with the greatest independent relationship to ball speed; and 4) the ball speed showed a high absolute and relative reliability.

## Acknowledgements

The authors have no conflicts of interest to declare

## Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

## References

- [1] Akutagawa S, Kojima T. Trunk rotation torques through the hip joints during the one- and two-handed backhand tennis strokes. *J Sports Sci* 2005; 23: 781–793
- [2] Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med* 1998; 26: 217–238
- [3] Bonato M, Maggioni MA, Rossi C, Rampichini S, La Torre A, Merati G. Relationship between anthropometric or functional characteristics and maximal serve velocity in professional tennis players. *J Sports Med Phys Fitness* 2015; 55: 1157–1165
- [4] Bower R, Cross R. Elite tennis player sensitivity to changes in string tension and the effect on resulting ball dynamics. *Sports Engineering* 2008; 11: 31–36
- [5] Brody H. Unforced errors and error reduction in tennis. *Br J Sports Med* 2006; 40: 397–400
- [6] Carrough JH, Gabet T, White J. Tennis serving velocity and accuracy. *Percept Mot Skills* 1990; 70: 719–722
- [7] Carlton LG, Chow JW, Shim J. Variability in motor output and Olympic performers. In Davids K, Bennett S, Newell K. (eds.) *Movement System Variability*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2006: 85–108
- [8] Cross R, Pollard G. Grand Slam men's singles tennis 1991–2009. Serve speeds and other related data. *ITF Coach Sport Sci Rev* 2009; 16: 8–10
- [9] Chelly SM, Denis C. Leg power and hopping stiffness: Relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 326–333
- [10] di Prampero PE, Fusi S, Sepulcri L, Morin JB, Belli A, Antonutto G. Sprint running: A new energetic approach. *J Exp Biol* 2005; 208: 2809–2816
- [11] Fernández-Fernández J, Sanz-Rivas D, Méndez-Villanueva A. A review of the activity profile and physiological demands of tennis match play. *Strength Cond J* 2009; 31: 15–26
- [12] Harriss DJ, Macsween A, Atkinson G. Standards for ethics in sport and exercise science research: 2018 update. *Int J Sports Med* 2017; 38: 1126–1131
- [13] Johnson J. Tennis serve of advanced women players. *Res Q Exerc Sport* 1957; 28: 123–131
- [14] Knudson D, Bahamonde R. Trunk and racket kinematics at impact in the open and square stance tennis forehand. *Biol Sport* 1999; 16: 3–10
- [15] Kolman N, Huijgen B, Kramer T, Elferink-Gemser M, Visscher C. The Dutch technical-tactical tennis test (D4T) for talent identification and development: Psychometric characteristics. *J Hum Kinet* 2017; 55: 127–138
- [16] Kramer T, Huijgen BC, Elferink-Gemser MT, Visscher C. A longitudinal study of physical fitness in elite junior tennis players. *Pediatr Exerc Sci* 2016; 28: 553–564
- [17] Kramer T, Huijgen BC, Elferink-Gemser MT, Visscher C. Prediction of tennis performance in junior elite tennis players. *J Sports Sci Med* 2017; 16: 14–21
- [18] Kramer T, Valente-Dos-Santos J, Coelho ESMJ, Malina RM, Huijgen BC, Smith J, Elferink-Gemser MT, Visscher C. Modeling longitudinal changes in 5 m sprinting performance among young male tennis players. *Percept Mot Skills* 2016; 122: 299–318
- [19] Landlinger J, Stöggl T, Lindinger S, Wagner H, Müller E. Differences in ball speed and accuracy of tennis groundstrokes between elite and high-performance players. *Eur J Sport Sci* 2012; 12: 301–308
- [20] Lyons M, Al-Nakeeb Y, Hankey J, Nevill A. The effect of moderate and high-intensity fatigue on groundstroke accuracy in expert and non-expert tennis players. *J Sports Sci Med* 2013; 12: 298–308
- [21] Moore SA, McKay HA, Macdonald H, Nettlefold L, Baxter-Jones AD, Cameron N, Brasher PM. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc* 2014
- [22] Myburgh GK, Cumming SP, Coelho ESM, Cooke K, Malina RM. Growth and maturity status of elite British junior tennis players. *J Sports Sci* 2016; 34: 1957–1964
- [23] Myburgh GK, Cumming SP, Silva MC, Cooke K, Malina RM. Maturity-associated variation in functional characteristics of elite youth tennis players. *Pediatr Exerc Sci* 2016; 28: 542–552
- [24] Perry AC, Wang X, Feldman BB, Ruth T, Signorile J. Can laboratory-based tennis profiles predict field tests of tennis performance? *J Strength Cond Res* 2004; 18: 136–143
- [25] Reid M, Elliott B, Alderson J. Shoulder joint loading in the high performance flat and kick tennis serves. *Br J Sports Med* 2007; 41: 884–889 discussion 889
- [26] Reid MM, Campbell AC, Elliott BC. Comparison of endpoint data treatment methods for estimation of kinematics and kinetics near impact during the tennis serve. *J Appl Biomech* 2012; 28: 93–98
- [27] Sherar LB, Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Thomis M. Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *J Pediatr* 2005; 147: 508–514
- [28] Stirn I, Carruthers J, Sibila M, Pori P. Frequent immediate knowledge of results enhances the increase of throwing velocity in overarm handball performance. *J Hum Kinet* 2017; 56: 197–205
- [29] Torres-Torrel J, Rodríguez-Rosell D, González-Badillo JJ. Light-load maximal lifting velocity full squat training program improves important physical and skill characteristics in futsal players. *J Sports Sci* 2017; 35: 967–975
- [30] Ulbricht A, Fernandez-Fernandez J, Mendez-Villanueva A, Ferrauti A. Impact of fitness characteristics on tennis performance in elite junior tennis players. *J Strength Cond Res* 2016; 30: 989–998
- [31] Vaverka F, Cernosek M. Association between body height and serve speed in elite tennis players. *Sports Biomech* 2013; 12: 30–37
- [32] Vergauwen L, Madou B, Behets D. Authentic evaluation of forehand groundstrokes in young low- to intermediate-level tennis players. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36: 2099–2106
- [33] Vincent JW, Weir JP. *Statistics in Kinesiology*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2012
- [34] Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res* 2005; 19: 231–240